



Escola de Camins

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

TESI DE MÀSTER

Màster

ENGINYERIA AMBIENTAL

Títol

**ESTUDI DEL GRADIENT D'OXIDACIÓ-REDUCCIÓ EN
AIGUAMOLLS CONSTRUÏTS EN FUNCIÓ DEL
TRACTAMENT PRIMARI**

Autor

CARLOS TOBALINA RAMIREZ

Tutor

JAUME PUIGAGUT

Data

JUNY 2013

RESUM

Els aiguamolls construïts s'utilitzen des dels anys trenta. I en aquests últims anys s'ha descobert que tenen un gran potencial per a la seva utilització en poblacions de baixa densitat o en determinades situacions de urbanitzacions aïllades. Tenen, a més a més, l'avantatge afegit que s'integren bé en el medi i que la seva producció de residus és baixa.

Els aiguamolls estudiats estan integrats dins de la planta pilot de tractament d'aigües residuals del Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marina i Ambiental situada al Campus Nord de la Universitat Politècnica de Catalunya.

Aquest estudi es realitza mitjançant quatre campanyes de mostreig basant-se en l'avaluació dels perfils verticals redox dins dels aiguamolls. Amb això volem donar el Gradient Redox (E_H) que ens arriba a poder determinar les vies degradació de la matèria orgànica present. En aquests sistemes també es va avaluar l'eficiència en l'eliminació de contaminants en termes de DQO soluble, DQO total, amoni.

També s'estudien noves configuracions d'aiguamolls construïts. Aquestes són: decantació i el sistema anaeròbic (Hidròlisi primària en un reactor HUSB).

La major eliminació de DQO es produeix als aiguamolls alimentats amb decantadors, presentant rendiments d'eliminació del 64%. Pel que fa al sistema anaeròbic té un rendiment d'eliminació del 41%. Per altra banda, els aiguamolls presenten rendiments d'eliminació de contaminants com l'amoni amb valors de l'ordre del 90%. Per contra els gradients redox arriben a 400 mV en el sistema alimentat amb HUSB.

Sent aquesta tesina, un element per poder vincular aquests perfils redox, amb piles de combustible microbianes, oferint la possibilitat de generar electricitat neta per a aplicacions de baixa potència i d'aquesta manera tancar cercles energètics donant l'opció d'una gestió integral en els ecosistemes.

Paraules clau: aiguamolls construïts, potencial redox, vies, piles de combustible microbianes.

AGRAÏMENTS

Per la realització d'aquesta tesina han sigut necessàries moltes hores de treball, que no podrien haver sigut possible sense l'ajuda de moltes persones que han fet arribar al dia d'avui.

Al Jaume Puigagut per seva la paciència i dedicació, que ha sigut gran puntal perquè aquesta tesina hagi arribat a bon port.

A l'Eduardo Álvarez i el Javier Carretero, tècnics dels laboratoris del departament, i així com els companys departament per la seva experiència i bons consells durant tota la meva estància al departament.

A la Marina, la meva companya de tesina, que ha fet que el dia a dia sigui mes fàcil amb tantes hores al laboratori del departament.

Al meus pares que fan possible amb el seu suport que arribi a llocs on no podria.

Als meus companys del Màster (Los Guayos) pels increïbles moments, i grans vivències que fan que els dies més complicats durant l'any siguin més fàcils de passar.

Als meus amics i companys de batalla. Ja sigui At. Perroflautas o Pandas Desalmados que dia a dia em donaven energia per seguir endavant

Finalment a la Laia, que ha fet possible que trobi la llum on només hi veia fosc.

1. Sumari

1. SUMARI	6
2. INTRODUCCIÓ	17
3. REVISIÓ BIBLIOGRÀFICA	20
3.1. TIPUS DE SISTEMES NATURALS	20
3.2. AIGUAMOLLS	20
3.3. AIGUAMOLLS CONSTRUÏTS	21
3.3.1. Aplicacions	22
3.3.2. Avantatges i inconvenients	22
3.4. COMPONENTS D'UN AIGUAMOLL CONSTRUÏT DE FLUX SUBSUPERFICIAL	24
3.4.1. Estructures de distribució i recollida d'aigües	24
3.4.2. Llit granular	25
3.4.3. Vegetació	26
3.5. MECANISMES D'ELIMINACIÓ DELS CONTAMINANTS	27
3.5.1. Matèria en suspensió	27
3.5.2. Matèria orgànica	28
3.5.3. Nitrogen	30
3.5.4. Fòsfor	31
3.5.5. Metalls pesants	31
3.5.6. Microorganismes patògens	32
3.5.7. Altres contaminants	32
3.6. EL POTENCIAL REDOX	33
3.6.1. Definició del potencial redox	33
3.6.2. Importància del potencial redox	33
3.6.3. Influència dels criteris de disseny en les condicions redox	35
3.7. PILES MICROBIANES	36
3.7.1. Piles microbianes de sediment	37
3.8. DIGESTIÓ ANERÒBICA	38
4. OBJECTIUS	40
5. MATERIALS I MÈTODES	41
5.1. DESCRIPCIÓ DE LA PLANTA PILOT DE TRACTAMENT D'AIGUA RESIDUAL	41
5.1.1. Bombes de captació i d'enviament, pretractament, tanc inicial i bypass	44
5.1.2. Cabals tractats	45

5.1.3.	Bombeig i tractament primari	45
5.1.4.	Bombeig i tractament secundari	48
5.1.5.	Reservoris controladors del cabal de sortida	51
5.1.6.	Sistema controlador del nivell d'aigua dels aiguamolls.....	51
5.2.	POSTA EN MARXA I MANTENIMENT DE LA PLANTA PILOT	53
5.3.	ANÀLISI FÍSICOQUÍMIC	53
5.3.1.	Demanda química d'oxigen (DQO)	53
5.3.2.	Demanda biològica d'oxigen (DBO)	55
5.3.3.	Amoni	56
5.4.	MESURES REDOX	58
6.	RESULTATS	60
6.1.	ANÀLISI FÍSICOQUÍMIC	60
6.1.1.	DQO	60
6.1.2.	Amoni	61
6.1.3.	DBO	63
6.2.	PERFELS REDOX	63
6.2.1.	Primera campanya	63
6.2.2.	Segona campanya	66
6.2.3.	Tercera campanya	69
7.	DISCUSSIÓ	72
7.1.	Anàlisi Físicoquímic.....	72
7.1.1.	Avaluació BQO	72
7.1.2.	Avaluació amoni	72
7.1.3.	Avaluació DBO	73
7.2.	Perfils Redox	73
7.2.1.	Comportament global del potencial redox.....	73
7.2.2.	Efecte dels tractaments primaris.....	73
8.	CONCLUSIONS I RECOMANACIONS	75
8.1.	Conclusions de Sanejament.....	75
8.2.	Conclusions del Potencial Redox	75
8.3.	Recomanacions	75
8.4.	Estudi implementació de piles de combustibles.....	76
8.5.	ÀNODE.....	77
8.6.	POTÈNCIA TEÒRICA	77
8.6.1.	Característiques i consideracions prèvies	77
8.6.2.	Càlcul i resultat	78

9. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES _____ **81**

ÍNDEX DE TAULES

CAPÍTOL 2

Taula 2.1.- Característiques típiques del material granular usat en aiguamolls construïts de flux subsuperficial (Chico, 2002)	25
--	----

CAPÍTOL 5

Taula 5.1.- Dimensionat dels aiguamolls i hidràulica del sistema.	48
Taula 5. 2. Taula de referència pels valor de DBO necessària segons el rang present en la mostra d'estudi.....	56
Taula. 5.3 Disposició temporal de les campanyes realitzades durant l'estudi	59

CAPÍTOL 8

Taula 8.1. Característiques i dades per determinar la potència màxima teòrica	78
Taula 8.2. Gradient redox mitjà i potència teòrica del aiguamolls del sistema.	79

INDEX FIGURES

CAPÍTOL 3

Figura 1. Representació gràfica de la classificació dels aiguamolls construïts.	22
Figura 2. Dibuix esquemàtic del canyís (<i>Phragmites australis</i>). (García i Corzo, 2008)	26
Figura 3. Evolució de la concentració de matèria en suspensió (MES) al llarg d'un aiguamoll de flux horitzontal. (Píriz, 2000)	28
Figura 4. Hipotètica zonificació de redox vertical en els sòls d'un aiguamoll construït. (Kadlec i Wallace, 2008)	35
Figura 5. Procés d'obtenció d'energia d'una MFC (Pistonesi, Haure i D'Elmar, 2010).	36
Figura 6. Representació esquemàtica d'una pila microbiana de sediment. (Schamphelaire, 2008).	38

CAPÍTOL L 5

Figura 7 Situació del Departament d'Enginyeria Marítima Hidràulica i Ambiental. Fotografia aèria Google Maps.....	41
Figura 8 Esquema general de la planta pilot amb elements principals	43
Figura 9. (a) Vista global del tanc d'emmagatzematge d'aigua residual amb capacitat de 1m3 i bypass general (b) Motor mesclador, (c) Agitador de mescla, (d) Filtre, (e) Flotador per mantenir el tanc ple d'aigua..	44
Figura 10. Decantadors circulars del tractament primari.	45
Figura 11. Esquema representatiu dels Sistema primari. que alimenta als aiguamolls. (elaboració pròpia)..	47
Figura 12. (a) Tub de PVC utilitzat per construir el HUSB.(b,d) Embut amb T depolietilè a la base del reactor.(c) Ubicació al terrat del reactor HUSB (e) Aixetes d'alimentació i canonada de descàrrega.	48
Figura 13. Imatges del Tractament Secundari de la Planta Pilot.	49
Figura 14. Dimensionament d'un aiguamoll del sistema secundari de tractament.	50
Figura 15. Vista en perfil d'un aiguamoll del sistema de tractament	51
Figura 16. Reservoiris controladors del cabal de sortida de la planta.	51
Figura 17. A) Sistema controlador del nivell d'aigua dels llits dels aiguamolls. B) Vàlvula antiretorn.	52
Figura 18. Fotografia de la planta on es poden veure clarament el dipòsit de distribució, el tractament primari (decantadors i reactor HUSB) i el tractament secundari (aiguamolls) (imatge cedida per Joan García)	52

Figura 19. Gradeta i tubs amb rosca del laboratori DEHMA.....	52
Figura 20. A) Bloc Digestor al laboratori DEHMA. B) Espectrofotòmetre al laboratori DEHMA.	54
Figura 21. OXITOP i nevera termoregulada del laboratori DEHMA.	54
Figura 22. Espectrofotòmetre del laboratori DEHMA.	55
Figura 23. A) Sonda i Cos de mesura redox. B) Col·locació de les sondes al del llit de tractament.	58
Figura 24. Posició de les sondes a l'interior de la malla de plàstic.....	59

CAPÍTOL 6

Figura 25. Valors de DQO total a la planta pilot de tractament d'aigua residual. Aiguamolls amb Decantadors. Boxplot on es mostra el primer i tercer quartil, els percentils 5 i 95, la mitjana i la mitjana aritmètica. (elaboració pròpia)	60
Figura 26. Valors de DQO total a la planta pilot de tractament d'aigua residual. Aiguamolls amb HUSB. Boxplot on es mostra el primer i tercer quartil, els percentils 5 i 95, la mitjana i la mitjana aritmètica. (elaboració pròpia).....	61
Figura 27. Valors d'amoni a la planta pilot de tractament d'aigua residual. Aiguamolls amb Decantadors. Boxplot on es mostra el primer i tercer quartil, els percentils 5 i 95, la mitjana i la mitjana aritmètica. (elaboració pròpia)	62
Figura 28. Valors d'amoni a la planta pilot de tractament d'aigua residual. Aiguamolls amb HUSB. Boxplot on es mostra el primer i tercer quartil, els percentils 5 i 95, la mitjana i la mitjana aritmètica. (elaboració pròpia).....	63
Figura 29. Valors de DBO Soluble a la planta pilot de tractament d'aigua residual. Aiguamolls amb HUSB. I Decantadors (DEC) (elaboració pròpia).	63
Figura 30. Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll AC2 (elaboració pròpia)	64
Figura 31. Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll CP1 (elaboració pròpia)	64
Figura 32. Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll AC2 (elaboració pròpia)	65
Figura 33. Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll CP2. (elaboració pròpia)	66
Figura 34. Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll AC2 (elaboració pròpia)	67

Figura 35. Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll CP1 (elaboració pròpia)	67
Figura 36. Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll AC2 (elaboració pròpia)	67
Figura 37. Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll CP1 (elaboració pròpia)	68
Figura 38. Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll AC1. (elaboració pròpia)	69
Figura 39. Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll CP1. (elaboració pròpia)	70
Figura 40. Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll AC (elaboració pròpia)	71
Figura 41. Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll CP1 (elaboració pròpia).	71

CAPÍTOL 8

Figura 42. Resum de les potències i densitats resultants fins ara en piles de combustible microbianes. (Schamphelaire, 2008).	80
---	----

ANNEXES

Taula A1.1 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll CP2. Primera Campanya. (elaboració pròpia)	89
Taula A1.2 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll CP1. Primera Campanya. (elaboració pròpia)	90
Taula A1.3 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll AC1. Primera Campanya. (elaboració pròpia)	91
Taula A1.4 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll AC2. Primera Campanya. (elaboració pròpia)	92
Taula A1.5 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll AC1. Segona Campanya. (elaboració pròpia)	93
Taula A1.6 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll AC2. Segona Campanya. (elaboració pròpia)	94

Taula A1.7 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll CP1. Segona Campanya. (elaboració pròpia)	94
Taula A1.8 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll CP2. Segona Campanya (elaboració pròpia)	95
Taula A1.9 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll AC1. Tercera Campanya (elaboració pròpia)	96
Taula A1.10 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll AC2. Tercera Campanya (elaboració pròpia)	97
Taula A1.11 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll CP1. Tercera Campanya (elaboració pròpia)	98
Taula A1.12 Dades de la concentració de DQO als diferents punts de mostreig del sistema de tractament. 4 primeres setmanes. (elaboració pròpia).....	99
Taula A1.13 Dades de la concentració de DQO als diferents punts de mostreig del sistema de tractament. 5, 6 i 7 setmanes. (elaboració pròpia)	100
Taula A1.14 Dades de la concentració de DQO als diferents punts de mostreig del sistema de tractament. 3 últimes setmanes. (elaboració pròpia).....	101
Taula A1.15 Dades de la concentració d'amoni als diferents punts de mostreig del sistema de tractament. 6 primeres setmanes. (elaboració pròpia).....	102
Taula A1.16 Dades de la concentració d'amoni als diferents punts de mostreig del sistema de tractament. 5 últimes setmanes (elaboració pròpia).....	103
Taula A1.17 Dades de la concentració de DBO Total als diferents punts de mostreig del sistema de tractament. (elaboració pròpia)	104
Taula A1.18 Dades de la concentració de DBO Soluble als diferents punts de mostreig del sistema de tractament. (elaboració pròpia).....	105
Figura A2.1 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari AC2 i Temperatura (elaboració pròpia).....	106
Figura A2.2 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari AC2 i Temperatura (elaboració pròpia).....	106
Figura A2.3 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari AC2 i Temperatura (elaboració pròpia).....	107
Figura A2.4 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari (elaboració pròpia).....	107
Figura A2.5 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari AC1 i Temperatura (elaboració pròpia).....	108

Figura A2.6 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari AC1 i Temperatura (elaboració pròpia).....	111
Figura A2.7 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari AC1 i Temperatura (elaboració pròpia).....	112
Figura A2.8 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari (elaboració pròpia).....	112
Figura A2.9 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari CP1 i Temperatura (elaboració pròpia).....	112
Figura A2.10 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari CP1 i Temperatura (elaboració pròpia).....	113
Figura A2.11 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari CP1 i Temperatura (elaboració pròpia).....	113
Figura A2.12 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari (elaboració pròpia).....	114
Figura A2.13 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari CP2 i Temperatura (elaboració pròpia).....	115
Figura A2.14 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari CP2 i Temperatura (elaboració pròpia).....	116
Figura A2.15 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari CP2 i Temperatura (elaboració pròpia)	116
FiguraA2.16 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari (elaboració pròpia).....	116
Figura A2.17 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari AC1 i Temperatura (elaboració pròpia).....	117
Figura A2.18 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari AC1 i Temperatura (elaboració pròpia).....	117
Figura A2.19 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari AC1 i Temperatura (elaboració pròpia).....	117
Figura A2.20 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari (elaboració pròpia).....	117
Figura A2.21 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari AC2 i Temperatura (elaboració pròpia).....	118
Figura A2.22 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari AC2 i Temperatura (elaboració pròpia).....	118
Figura A2.23 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari AC2 i Temperatura (elaboració pròpia).....	118

Figura A2.24 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari (elaboració pròpia).....	113
Figura A2.25 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari CP1 i Temperatura (elaboració pròpia).....	113
Figura A2.26 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari CP1 i Temperatura (elaboració pròpia).....	113
Figura A2.27 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari CP1 i Temperatura (elaboració pròpia).....	114
FiguraA2.28 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari (elaboració pròpia).....	114
Figura A2.29 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari CP2 i Temperatura (elaboració pròpia).....	114
Figura A2.30 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari CP2 i Temperatura (elaboració pròpia).....	115
Figura A2.31 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari CP2 i Temperatura (elaboració pròpia).....	115
FiguraA2.32 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari (elaboració pròpia).....	115
Figura A2.33 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari AC2 i Temperatura (elaboració pròpia).....	116
Figura A2.34 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari AC2 i Temperatura (elaboració pròpia).....	116
Figura A2.35 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari AC2 i Temperatura (elaboració pròpia).....	117
FiguraA2.36 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari (elaboració pròpia).....	117
Figura A2.37 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari AC1 i Temperatura (elaboració pròpia).....	117
Figura A2.38 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari AC1 i Temperatura (elaboració pròpia).....	118
Figura A2.39 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari AC1 i Temperatura (elaboració pròpia).....	118
FiguraA2.40 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari (elaboració pròpia).....	118
Figura A2.41 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari CP1 i Temperatura (elaboració pròpia).....	119

Figura A2.42 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari CP1 i Temperatura (elaboració pròpia).....	120
Figura A2.43 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari CP1 i Temperatura (elaboració pròpia).....	121
FiguraA2.44 Fluctuacions del EH als aiguamolls del sistema secundari (elaboració pròpia).....	122

2. INTRODUCCIÓ

Existeix una gran pressió sobre els recursos hídrics a nivell mundial. Segons la UNESCO (2003) el 69% de l'aigua dolça disponible al planeta es destina a l'agricultura, representa el 23% a la indústria i el 8% al consum domèstic. Diversos aspectes com la mala distribució temporal i espacial o la degradació determinen l'actual situació que es resumeix en un gran desequilibri entre l'oferta existent i la creixent demanda d'aigua. Per altra banda, la disposició final de les aigües residuals produïdes per les diferents activitats humanes (principalment usos domèstics i industrials) representa un problema la magnitud del qual està en constant increment i que es veu agreujat quan es tracta de grans urbs.

Segons la UNESCO (2003) l'ús que es fa de l'aigua va en augment en relació amb la quantitat disponible. Els sis mil milions d'habitants del planeta s'han consumit el 54% de l'aigua dolça disponible en rius, llacs i aquífers subterranis. Segons el mateix estudi, al 2025, l'home consumirà el 70% de l'aigua disponible. Aquesta estimació s'ha realitzat considerant únicament el creixement demogràfic. No obstant això, si el consum de recursos hídrics per càpita segueix creixent al ritme actual, d'aquí a 25 anys l'home podria arribar a utilitzar més del 90% de l'aigua dolça disponible, deixant només un 10% per a la resta d'espècies que poblen el planeta.

És per això que des de Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental situat en el Campus Nord de la Universitat Politècnica de Catalunya, es treballa en una de les possibles solucions com són els aiguamolls construïts. Actualment amb aquest mètode hi ha més de 10000 sistemes funcionant arreu del món (Arias, 1998). Sent uns dels sistemes amb més potencials, capaç de ser integrat dintre de plans urbanístics, gestió de les aigües utilitzades en Universitats, etc.

Si ens centrem en Catalunya, podem veure com al 2005 es va desenvolupar el Programa de sanejament d'aigües residuals urbanes 2005 (PSARU 2005), sent un instrument de planificació hidrològica que desenvolupa el Pla de Sanejament de Catalunya aprovat pel Govern de la Generalitat, en data 7 de novembre de 1995, que té com a objecte totes les actuacions destinades a la reducció de la contaminació originada per l'ús domèstic de l'aigua.

El PSARU 2005 s'emmarca dins la Directiva 91/271/CEE sobre el tractament d'aigües residuals urbanes, i la Directiva 2000/60/CEE, adreçades a la protecció de les aigües i que pretén aconseguir abans de l'any 2015 un bon estat de les masses d'aigua superficials, mitjançant el desenvolupament de mesures de protecció, millora i regeneració d'aquestes masses.

Aquest programa de sanejament pretén prioritzar la implantació de sistemes naturals, també anomenats alternatius o tous, en nuclis de població petits, sempre que les condicions climàtiques i geotècniques i la disponibilitat de terreny permetin la seva construcció. Aproximadament es requereixen de 5 a 10 m² d'aiguamoll construït de flux superficial per habitant equivalent¹. En principi es recomana el tractament d'aigua residual amb llacunatge i aiguamolls construïts a nuclis de 300 fins a 1000 habitants equivalents, tot i que s'han construït aiguamolls amb poblacions de fins a 2000 habitants.

Si es fa una recerca bibliogràfica sobre aiguamolls es podrà comprovar que la majoria d'estudis i investigacions estan centrats en el sistema de depuració amb aquests mètodes d'aiguamolls. Però des del departament es vol treballar amb un plus més, que pot donar un salt de qualitat.

Si ben cert que no hi ha solucions verticals per tal de resoldre els greus problemes mediambientals que estem patint, i l'esgotament latent dels sistemes majoritaris per obtenció d'energia com es el petroli i/o gas natural. I sent l'ús d'aquest sistemes que ha portat l'augment dels nivells de carboni a l'atmosfera, amb pujades de 316 ppm a 398 ppm al 2011. (IPCC 2011).

Si es també que ens aquest darrers anys s'està treballant d'una manera més eficient per tal de disminuir els danys al medi ambient, es cert, que per evitar l'augment d'aquest es necessari un canvi de mentalitat i tanmateix sistemes d'absteniment energètic.

Es per tant l'objectiu d'aquets treball establir o assentar les bases per tal d'aconseguir un sistema que arribi a ser autosuficient amb l'ús d'energies amb un balanç 0. Una d'aquestes energies i que representa l'enfocament més recent per a la generació d'electricitat–bioelectricitat és la tecnologia de la pila microbiana de combustible (MFC) a partir de la biomassa utilitzant bactèries. Aquest tipus de processos no va despertar interès fins a la dècada dels anys 80, amb la utilització de mediadors redox solubles que augmenten la producció de corrent i la potència d'aquest sistemes.

A mesura que s'investiga en aquest camp i es treballa en direcció a l'autosuficiència d'aquestes piles de combustible microbianes per aconseguir una tecnologia viable en un futur, és important conèixer els aspectes que ens permetran diferents aplicacions pràctiques, com el tractament d'aigües residuals. En una pila de combustible microbiana hi té principal importància la força electromotriu que impulsa el seu funcionament. Aquest, juntament amb la resistència interna,

¹ Unitat de mesura utilitzada per determinar la càrrega contaminant orgànica que tenen les aigües residuals. Es defineix com la càrrega orgànica biodegradable amb una DBO en cinc dies (DBO₅) de 60 g d'oxigen (O₂) per dia.

afecta al voltatge i a la intensitat final que se'n podran generar. La força electromotriu és el voltatge o potencial ideal entre el càtode i l'ànode d'una pila de combustible microbiana. Aquest es veu afectat pels mediadors redox.

Els mediadors redox són compostos solubles que actuen transportant els electrons des de la bactèria fins a l'elèctrode, reoxidant-se i quedant disponibles de nou per ser reduïts pels microorganismes.

El mesurament del potencial redox ha estat àmpliament utilitzat per caracteritzar les condicions d'oxidació–reducció als sòls dels aiguamolls. L'avaluació del potencial redox del sòl de l'aiguamoll ha estat útil fins ara per caracteritzar l'inici de les condicions de reducció del substrat, causat per la manca de saturació d'oxigen a l'aigua (Fiedler i Sommer, 2004). El potencial redox és un bon indicador de l'estat del canyar, on els últims resultats indiquen l'acumulació d'un gran nombre de diferents paràmetres influenciadors (Kayser, 2002).

El potencial redox als sòls dels aiguamolls de flux subsuperficial es veu afectat pel nivell de l'aigua, l'activitat dels microorganismes, per la presència de plantes, i per la concentració d'acceptors d'electrons. La majoria d'estudis que s'han fet fins ara s'han centrat en les fluctuacions a llarg termini del potencial redox. No obstant això, les condicions redox a la rizosfera poden variar en un període molt curt a causa de la capacitat de les plantes dels aiguamolls per ventilar el sòl. Un estudi realitzat per Flessa l'any 2004 va determinar un gran augment del potencial redox a la rizosfera dels macròfits submergits induït per la intensitat de la llum sota condicions de laboratori. També Wiebner l'any 2005 va trobar variacions diàries en l'estat redox utilitzant juncs en condicions de laboratori que anaven de -200 mV a +200 mV, impulsat per la llum del dia.

Tot i així, no hi ha gaire informació sobre aquest fenomen in situ, ja sigui en aiguamolls naturals o construïts. Aquest estudi es centra per tant, en les fluctuacions diàries del potencial redox in situ en un llit de tractament d'un aiguamoll construït per tal de descriure les condicions d'oxidació–reducció en funció de la variació de paràmetres com el règim hidràulic, la presència o no de vegetació al sòl i la profunditat de l'aiguamoll.

3. REVISIÓ BIBLIOGRÀFICA

3.1. TIPUS DE SISTEMES NATURALS

Els sistemes naturals són aquells que aconseguixen l'eliminació de les substàncies contaminants presents a l'aigua residual a través de mecanismes i processos naturals sense necessitar energia externa ni additius químics. La sinergia de diferents comunitats d'organismes executen un bon nombre de processos de descontaminació en aquests sistemes.

Les dues diferències fonamentals dels sistemes naturals respecte als convencionals són una major superfície de tractament i un consum nul d'energia per descontaminar.

Els sistemes naturals de depuració també són coneguts a la literatura científica i tècnica com tecnologies no convencionals, sistemes de baix cost, tecnologies toves i sistemes verds, entre d'altres.

En els últims temps els sistemes naturals s'han anat utilitzant de forma creixent gràcies a les seves característiques de construcció i funcionament: el seu cost d'inversió sol ser competitiu, necessitant poc personal pel seu manteniment, no presenten consum energètic o es redueix al mínim vital pels bombejos de capçalera, i no generen grans quantitats de llots de forma continuada.

Els sistemes naturals es divideixen en dos grups segons si el tractament té lloc fonamentalment al terreny o en una massa d'aigua. Els basats en el sòl es coneixen també com sistemes d'aplicació del terreny i es distingeixen el sanejament autònom, els filtres verds, la infiltració ràpida i la escorrentia superficial. Els basats en l'aigua es distingeixen entre llacunatges i aiguamolls.

3.2. AIGUAMOLLS

Els aiguamolls naturals són àrees que queden inundades periòdicament i on la profunditat és suficient per què hi habitin les plantes pròpies dels sòls naturals, generalment són àrees de transició entre els sistemes aquàtics i els terrestres.

Als últims anys s'han reconegut les múltiples funcions i valors dels aiguamolls naturals. Aquests sistemes degut a la gran quantitat de llum, aigua i nutrients, juntament amb la presència d'unes plantes que han desenvolupat adaptacions morfològiques i bioquímiques, es troben entre els sistemes més productius del món. L'alta productivitat d'aquests sistemes dona com a resultat una alt rendiment microbià i en conseqüència una alta capacitat per descompondre matèria orgànica i assimilació d'altres substàncies.

Tot això ha conduït a la construcció d'aiguamolls artificials per al tractament d'aigües residuals intentant aconseguir uns rendiments de depuració tals que no superin els màxims de contaminació exigits a l'efluent.

3.3. AIGUAMOLLS CONSTRUÏTS

Els aiguamolls construïts són sistemes de depuració constituïts per llacunes o canals poc profunds (inferiors a 1m) plantats amb vegetals propis de les zones humides i on els processos de descontaminació tenen lloc mitjançant les interaccions entre l'aigua, el substrat sòlid, els microorganismes, la vegetació i fins i tot la fauna. Els aiguamolls construïts també reben el nom d'aiguamolls artificials.

Atenent al tipus de circulació de l'aigua, els aiguamolls construïts es classifiquen en flux superficial o en flux subsuperficial. A la figura 1 s'inclou una representació d'aquests dos tipus d'aiguamolls construïts.

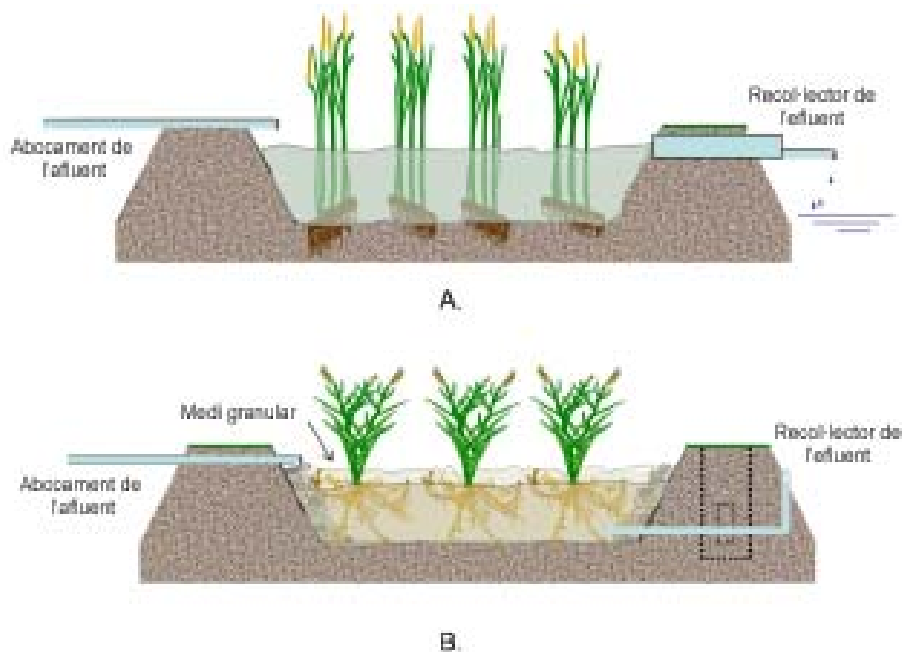


Figura 1. Representació gràfica de la classificació dels aiguamolls construïts.

Els aiguamolls construïts de flux superficial estan constituïts per llacunes excavades on l'aigua circula a través de les plantes i està exposada directament a l'atmosfera. Les plantes creixen arrelades al fons de la llacuna, el qual s'ha d'aïllar del terreny natural per a evitar la infiltració de les aigües dins l'aiguamoll. La profunditat de l'aigua pot variar d'uns pocs centímetres fins a un nivell màxim proper a un metre.

Els aiguamolls construïts de flux subsuperficial són sistemes on l'aigua circula exclusivament a través d'un material granular. Són sistemes naturals pensats per a tractar l'aigua residual i que milloren la qualitat de l'aigua a través de mecanismes físics, químics i biològics que tenen lloc

en el seu interior; l'aigua que transporta matèria dissolta i en suspensió interacciona amb l'atmosfera, el medi granular, els microorganismes i les plantes. El principal avantatge dels sistemes de flux subsuperficial respecte els sistemes de flux superficial és l'aïllament de l'aigua residual dels vectors, dels animals i dels humans al fer circular l'aigua per sota de la superfície del llit granular, alhora que s'aconsegueix controlar les males olors, derivades de la descomposició de la matèria orgànica i d'altres compostos, i un major aïllament tèrmic.

3.3.1. Aplicacions

Els aiguamolls construïts s'han utilitzat per tractar una gamma ampla d'aigües residuals que es resumeixen a partir de documents on s'exposen de forma més detallada les experiències (Reed, 1995; Kadlec, 2000):

- Aigües domèstiques i urbanes. És l'aplicació més coneguda i pot encaminar-se ha obtenir efluent secundaris (eliminació de matèria en suspensió i DBO) o efluent terciaris (eliminació de nutrients en general).
- Aigües industrials, incloent fabricació de paper, productes químics i farmacèutics, cosmètics, alimentació, refineries i escorxadors entre d'altres. A la majoria dels casos els aiguamolls construïts s'utilitzen posteriorment al tractament convencional aplicat.
- Lixiviats d'abocador. En tots els casos es tracta d'etapes posteriors al tractament convencional com poden ser llacunes airejades.
- Aigües de drenatge d'extraccions mineres. S'acostumen a utilitzar aiguamolls de flux superficial al tractar-se d'aigües amb un alt contingut de matèria en suspensió i precipitats.
- Aigües d'escorrentia superficial agrícola i urbana. Tot i que existeixen diferents variants, la més coneguda és el tractament d'aigües d'escorrentia urbana barrejades amb aigües residuals de xarxes de sanejament unitàries durant episodis de pluja intensa. En aquest cas l'aigua que flueix cap a la depuradora es sol desviar a un aiguamoll on es tracta.
- Tractament de fangs de depuradora. Els fangs es dipositen superficialment en aiguamolls de flux superficial on es deshidraten i es mineralitzen.

3.3.2. Avantatges i inconvenients

Igual que altres sistemes naturals de depuració, els aiguamolls construïts presenten alguns avantatges respecte als sistemes convencionals mecanitzats, entre els quals cal destacar:

- Simplicitat d'operació. Exigeix un temps baix d'operari i pocs equips electromecànics. El temps d'operari necessari estimat en una avaluació sobre els sistemes de depuració d'aigües residuals urbanes mitjançant llacunatge a Catalunya,

semblant als aiguamolls, dut a terme sota el patrocini de l'Agència Catalana de l'Aigua, fou una mitja de 0,6 hores/dia (García, 2001).

- Consum energètic mínim o nul. En general limitat al pretractament o a elevacions. En sistemes de llacunatge amb característiques semblants de pretractament i elevacions, el consum va oscil·lar entre 0 i 0,19 kWh/m³ (García, 2001).
- Baixa producció de residus durant l'operació del sistema. Els residus i fangs es solen limitar als generats al pretractament i al tractament primari.
- Baix cost d'explotació i manteniment en l'operació del sistema. Els costos actuals dels sistemes que gestiona l'Agència Catalana de l'Aigua (EDARs de menys de 2000 hab-eq) s'estimen entorn als 24.000 i 30.000 €/any (Robusté 2004).
- Fiabilitat en l'operació del sistema de tractament. Són sistemes amb temps de permanència hidràulics molt alts i les variacions puntuals de cabal o de càrrega contaminant afecten poc al nivell de depuració.
- Baix impacte ambiental sonor i bona integració al medi ambient natural.
- Creació i restauració de zones humides aptes per potenciar la vida salvatge, la educació ambiental i les zones d'esbarjo.

Els principals inconvenients respecte als sistemes convencionals són:

- Necessiten una superfície netament superior (entre 20 i 80 vegades més).
- Llarga posada en marxa. Des d'alguns mesos en sistemes amb flux subsuperficial fins a alguns anys en sistemes amb flux superficial (Kadlec, 2000).
- Difícils de dissenyar correctament degut a l'elevat nombre de processos i mecanismes implicats en l'eliminació de contaminants. No hi ha un acord clar referent als valors de paràmetres necessaris pel disseny.
- Pocs factors de control durant l'operació. En molts casos tant sols es pot controlar la profunditat de l'aigua. Els errors de disseny o constructius són molts difícils de corregir de forma senzilla.
- Els aiguamolls de flux subsuperficial són molt susceptibles a la colmatació del medi granular si l'aigua presenta un contingut elevat en determinats contaminants, com per exemple grasses o olis. És molt costós reemplaçar el material granular.
- Possiblement generen una major proporció gasos d'efecte hivernacle amb un gran potencial d'escalfament global (CH₄ i N₂O) (Mander, 2003).

3.4. COMPONENTS D'UN AIGUAMOLL CONSTRUÏT DE FLUX SUBSUPERFICIAL

Els aiguamolls construïts de flux superficial són sistemes utilitzats com a tractament secundari o terciari. Estan precedits per algun tractament físic simple que té per objectiu eliminar les partícules més gruixudes i evitar així la colmatació de la zona d'entrada dels aiguamolls. El tractament físic previ també redueix en part la concentració de matèria orgànica i el requeriments de superfície de l'aiguamoll, tot i que incrementa els costos de construcció i manteniment total de la planta de depuració.

En aquest tipus de sistemes l'aigua circula horitzontalment a través del medi granular i dels rizomes i arrels de les plantes. La profunditat de l'aigua pot variar entre 0.3 i 0.9 m. Es caracteritzen per funcionar permanentment inundats, amb un volum d'aigua entre 0.05 i 0.1 m per sota la superfície, i amb càrregues orgàniques al voltant de 6 g DBO/m²·dia.

Els elements bàsics o principals components que conformen un aiguamoll construït de flux superficial són els següents: distribució i recollida d'aigües, impermeabilització del fons i laterals, llit granular, vegetació (macròfits), microorganismes i aigua.

3.4.1. Estructures de distribució i recollida d'aigües

Els aiguamolls són sistemes que requereixen d'una bona repartició i recollida de les aigües per aconseguir els rendiments estimats, i és per aquest motiu que les estructures d'entrada i sortida han d'estar molt ben dissenyades i construïdes.

L'aigua residual es introduïda per un extrem del llit a través d'un canal amb una sèrie de vessadors o per mitjà d'una canonada perforada que permet repartir l'aigua a la capçalera evitant una descàrrega que pugui produir fluxos d'aigua preferencials. Habitualment, l'entrada d'aigua dins del medi granular no es realitza de forma directa, sinó que existeix una petita zona plena de grava de major diàmetre, la funció de la qual és retardar la colmatació del llit granular, evitar l'acumulació d'aigua en superfície i distribuir homogèniament l'aigua afluent en tota la profunditat del llit. A partir d'aquest punt, l'aigua flueix a través del llit granular fins arribar al final de l'aiguamoll on hi ha una altra zona de grava de gran mida per facilitar l'evacuació de l'efluent.

La recollida de l'efluent més usual en un aiguamoll de flux superficial és una canonada perforada de longitud igual a l'ample del llit, instal·lada al fons de l'aiguamoll. Aquestes canonades condueixen l'aigua a un tub d'alçada graduable que permet controlar el nivell d'aigua dins l'aiguamoll i drenar-lo durant operacions de manteniment.

3.4.2. Llit granular

El medi granular utilitza múltiples processos directes i indirectes per eliminar els agents contaminants de l'aigua residual que circula a través d'ells. Les propietats físiques i químiques del medi granular actuen directament sobre l'aigua, per exemple, la matèria en suspensió i els microorganismes patògens són retinguts a través del medi i de les biopel·lícules que s'hi desenvolupen. A més, es produeix la sedimentació de sòlids en suspensió als buits intergranulars, i l'adsorció de matèria orgànica dissolta, de patògens, de nutrients (nitrogen i fòsfor) i fins i tot de metalls, a la superfície dels grans i al biofilm.

De manera indirecta el llit granular contribueix a l'eliminació de contaminants, ja que serveix de suport per al creixement de les plantes i també, de superfície per al desenvolupament de colònies de microorganismes que duen a terme part del tractament biològic.

La mida del medi granular afecta directament al règim hidràulic de l'aiguamoll, i per tant, al cabal d'entrada màxim que és capaç de tractar. Els sòls usats com a llits d'aiguamolls construïts de flux subsuperficial han de presentar la permeabilitat suficient que permeti el pas de l'aigua a través dels mateixos. Aquesta característica indispensable obliga a usar medis de tipus granular, principalment graves fines amb diàmetres al voltant de 5-8 mm i amb molt pocs fins. També pot ser usual la inclusió sobre la superfície del llit d'una capa de material granular més petit proporcionant un medi adequat per desenvolupament del sistema d'arrels, mentre que a la resta del llit existeix suficient conductivitat hidràulica que assegura el flux subterrani.

La conductivitat hidràulica és molt important al medi granular, ja que d'ella en depèn la quantitat de flux d'aigua que pot circular a través del llit granular. Aquesta característica no és tan sols funció de la granulometria del material que el constitueix, sinó que disminueix al llarg del temps degut al desenvolupament de les arrels i del biofilm, l'acumulació de sòlids en suspensió en els buits i la formació de precipitats.

Material granular	Grandària efectiva (D_{10}) [mm]	Porositat [%]	Conductivitat Hidràulica [m/d]
Sorres graduades	2	28 – 32	100 – 1000
Sorres gravosses	8	30 – 35	500 – 5000
Graves fines	16	35 – 38	1000 – 5000
Graves mitjanes	32	36 – 40	10000 – 50000
Roques petites	128	38 – 45	50000 – 250000

Taula 2.1.- Característiques típiques del material granular usat en aiguamolls construïts de flux subsuperficial (Chico, 2002)

Els sòls utilitzats com a medi han de permetre el creixement i suport de la vegetació, juntament amb la funció de suport del creixement bacterià.

3.4.3. Vegetació

El paper de la vegetació als sistemes d'aiguamolls naturals ve determinat fonamentalment per les arrels i rizomes soterrats. Aquestes plantes que creixen als aiguamolls pertanyen al grup dels macròfits. Tot i que als aiguamolls s'hi solen desenvolupar gran varietat d'espècies, no totes poden viure en les condicions ambientals existents en un aiguamoll artificial, on circula aigua residual. En aiguamolls construïts la tendència general és plantar una sola espècie vegetal, o com a màxim dues espècies diferents.

Les espècies més plantades als aiguamolls construïts són macròfits emergents típics de les zones humides com el Canyís (*Phragmites australis*), la Boga (*Typhalatifolia*) i el Jonc (*Scirpus lacustris*).

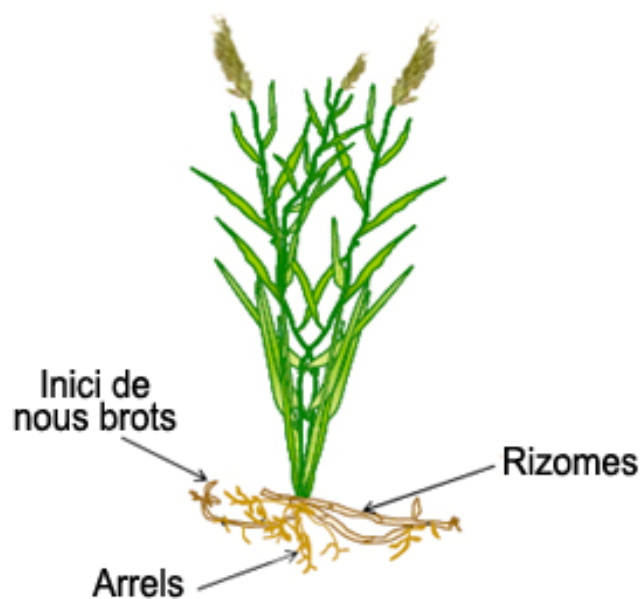


Figura 2. Dibuix esquemàtic del canyís (*Phragmites australis*). (García i Corzo, 2008)

Totes aquestes espècies presenten adaptacions especials per viure en ambients permanentment inundats. Els seus teixits interns disposen d'espais buits que permeten el flux de gasos des de les parts aèries fins a les subterrànies. Els seus rizomes² tenen una gran capacitat colonitzadora.

² Tija subterrània amb diverses gemmes que creix de forma horitzontal emetent arrels i brots herbacis dels seus nusos.

Els efectes de la vegetació sobre el funcionament dels aiguamolls són:

Les arrels i rizomes proporcionen una superfície adequada pel creixement de la biopel·lícula.

La biopel·lícula creix adherida a les parts soterrades de les plantes i sobre el medi granular. Al voltant de les arrels es generen microambients aeròbics on tenen lloc processos microbians que utilitzen oxigen, com la degradació aeròbica de la matèria orgànica i la nitrificació.

Amortiment de les variacions ambientals.

Quan les plantes estan desenvolupades redueixen la intensitat de la llum incident sobre el medi granular i eviten així grans gradients de temperatura a l'interior de l'aiguamoll que puguin afectar al procés de depuració.

Les plantes assimilen nutrients.

La seva contribució a l'eliminació de nutrients es modesta quan es tracta d'aigües residuals urbanes de tipus mitjà (eliminen entre un 10% del nitrogen y un 20% del fòsfor). En aigües residuals diluïdes la seva contribució és major (més del 50%).

Aportació d'oxigen.

Els rizomes alliberen oxigen que influeix en les reaccions bioquímiques estimulants la descomposició aeròbica de la matèria orgànica i el creixement de bacteries nitrificants.

3.5. MECANISMES D'ELIMINACIÓ DELS CONTAMINANTS

Les plantes depuradores d'aigües residuals urbanes s'han dissenyat habitualment per eliminar matèria en suspensió i matèria orgànica. Als últims anys l'eliminació de nutrients (nitrogen i fòsfor) també s'ha introduït com un objectiu a assolir. De fet, en l'actualitat els processos d'eliminació de nutrients es podrien considerar ja com a convencionals.

Existeix una gran varietat de processos físics, químics i biològics que participen en aquesta eliminació. A continuació es citen els principals constituents d'una aigua residual i els seus principals mecanismes d'eliminació.

3.5.1. Matèria en suspensió

La matèria en suspensió (MES) d'una aigua residual és la fracció de matèria sòlida que queda retinguda als aiguamolls mitjançant la combinació de diferents fenòmens físics que en el seu conjunt es denominen filtració del medi granular. Aquests fenòmens apareixen per:

- Constriccions del flux produïdes pel medi granular produint així un tamisat entre els seus espais intersticials.

- Baixa velocitat de circulació de l'aigua.
- Forces d'adhesió de les partícules que promouen la formació de partícules de major mida.

Als aiguamolls horitzontals la major part d'eliminació de la matèria en suspensió succeeix al voltant de la zona d'entrada i la seva concentració va disminuint de forma aproximadament exponencial al llarg del llit.

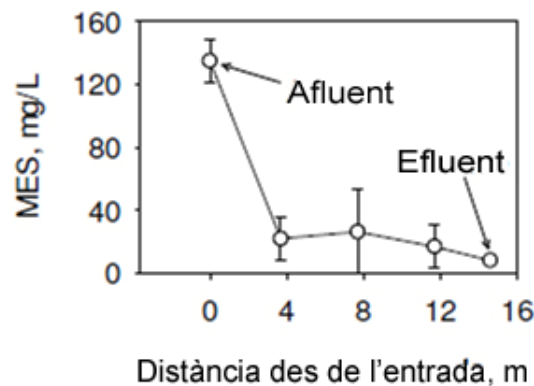


Figura 3. Evolució de la concentració de matèria en suspensió (MES) al llarg d'un aiguamoll de flux horitzontal. (Píriz, 2000)

El rendiment d'eliminació de la matèria en suspensió tan en sistemes horitzontals com en verticals sol ser molt elevat. Normalment és de més del 90% produint efluents amb concentracions menors de 20 mg/l de forma sistemàtica.

Si no es disposa d'un pretractament, un contingut excessiu de matèria en suspensió a l'aigua residual (>50 mg/l) pot provocar una ràpida colmatació dels aiguamolls. Aquests aspectes s'han de considerar durant el disseny (García, Morató i Bayona, 2004).

3.5.2. Matèria orgànica

La matèria orgànica entrant als aiguamolls es pot dividir en particulada i dissolta. La matèria orgànica particulada forma part de la MES, i per tant, la seva eliminació comparteix els mateixos mecanismes.

L'eliminació de la matèria orgànica als aiguamolls és complexa, sent el resultat de la interacció de nombrosos processos físics, químics i biòtics que succeeixen de forma simultània.

La principal via per l'eliminació de matèria orgànica acumulada en un aiguamoll és la descomposició, és a dir, la conversió de molècules orgàniques complexes a constituents orgànics i inorgànics simples. Aquest procés consta de tres passos:

- Fragmentació abiòtica.

- Hidròlisis mitjançant enzims extracel·lulars.
- Processos aerobis i anaerobis dels microorganismes.

La matèria orgànica particulada és retinguda per filtració a prop de l'entrada en sistemes horitzontals i a prop de la superfície en sistemes verticals. Aquesta fracció particulada per fragmentació abiòtica, es converteix en partícules més petites que poden ser hidrolitzades per enzims extracel·lulars. Els enzims són excretats per bacteries heteròtrofes aeròbiques i fermentatives facultatives. El resultat de la hidròlisis és la formació de substrats senzills (per exemple glucosa o aminoàcids) que poden ser assimilats per les bacteries heteròtrofes aeròbiques o fermentatives facultatives. Els àcids poden ser assimilats per bacteries sulfareductores, metanogèniques i també, per suposat, les bacteries heteròtrofes aeròbies. Els substrats senzills presents a l'aigua residual són assimilats directament sense necessitat de hidròlisis prèvia.

La degradació aeròbia de la matèria orgànica dissolta es produeix gràcies a la presència de bacteries heteròtrofes aeròbies. La degradació anaeròbia es produeix en varies etapes a les zones de l'aiguamoll on hi ha absència d'oxigen dissolt o en episodis de càrregues orgàniques altes. El procés el realitzen bacteries heteròtrofes de tipus anaerobi estricte o facultatiu. La degradació anaeròbia és molt més lenta que la degradació aeròbia.

Mètodes d'Anàlisi de la Matèria orgànica

S'utilitzen diferents tècniques per determinar la matèria orgànica d'una aigua residual, els més coneguts són:

Demanda bioquímica d'oxigen (DBO).

Es mesura l'oxigen consumit durant un període de temps especificat per degradar bioquímicament la matèria orgànica (demanda carbonosa) d'una mostra d'aigua així com l'oxigen utilitzat per oxidar la matèria orgànica present a la mostra. El temps utilitzat normalment és de 5 dies i els resultats obtinguts s'expressen com a DBO_5 .

Demanda química d'oxigen (DQO).

L'assaig de la DQO mesura la quantitat d'oxigen necessari per oxidar químicament la matèria orgànica present en una mostra d'aigua mitjançant un oxidant químic fort i a una temperatura aproximada de 150 °C. Els resultats de la DQO normalment són superiors que els de la DBO degut al major nombre de compostos que es poden oxidar químicament respecte als oxidables biològicament. La DQO requereix únicament d'unes hores.

Carboni orgànic total (COT).

L'assaig del COT es realitza injectant una quantitat coneguda de mostra a un forn a alta temperatura, on el carboni orgànic s'oxida a diòxid de carboni en presència d'un catalitzador. El

diòxid de carboni produït es determina amb un analitzador d'infrarojos. Aquest assaig és aplicable únicament a petites concentracions de matèria orgànica realitzant-se amb un moment de temps molt curt (Mujeriego *et al.*, 2000).

En aquest tipus de tractaments no es produeix una eliminació completa de la matèria orgànica per la generació existent als propis aiguamolls, provocada tant per restes de plantes com per acumulació de partícules.

El rendiment d'eliminació de la matèria orgànica en sistemes d'aiguamolls horitzontals i verticals és òptim si estan ben dissenyats, construïts i explotats. S'aconsegueixen rendiments entre el 75% i 95% arribant fàcilment a concentracions a l'efluent de 20 mg/l per la DBO i 60 mg/l per la DQO (Kadlec i Knight, 1996).

3.5.3. Nitrogen

En aigües residuals urbanes el nitrogen es troba fonamentalment en forma d'amoni (NH_4^+) i nitrogen orgànic. No sol ser habitual la presència de concentracions significatives de nitrats (NO_3^-) i nitrits (NO_2^-). Totes aquestes espècies, juntament amb el nitrogen gas, són bioquímicament intercanviables i formen part del cicle biogeoquímic del nitrogen.

Als aiguamolls, el principal mecanisme d'eliminació de nitrogen és de tipus microbià, consistent en la nitrificació seguida de la desnitrificació. No obstant, existeixen altres processos que contribueixen a l'eliminació com la volatilització, l'adsorció de l'amoni i l'assimilació realitzada per la vegetació.

La mineralització del nitrogen orgànic a nitrogen amoniacal és funció de la relació C/N, dels enzims extracel·lulars, de la biomassa microbiana i de les condicions redox del medi.

Nitrificació.

La nitrificació es produeix en dues etapes. A la primera l'amoni es transforma a nitrit per unes bactèries anomenades nitrosomones. A la segona etapa el nitrit és convertit a nitrat mitjançant unes bactèries anomenades nitrobàcter. La nitrificació succeeix a la zona aeròbia i necessita aproximadament 4.6 mg/ O_2 per transformar 1 mg d'amoni a nitrat (García i Corzo, 2008).

Desnitrificació.

La desnitrificació elimina el nitrogen en forma de nitrat mitjançant la seva conversió a nitrogen gas. Aquest mecanisme succeeix en condicions anaeròbies i es produeix en dues etapes. A la primera etapa el nitrat és transformat a nitrit i a la segona el nitrit és convertit a NO, N_2O i nitrogen gas (N_2). Aquest tres productes finals són gasosos i són alliberats a l'atmosfera.

En aiguamolls horitzontals on la transferència d'oxigen és baixa i amb poques zones aeròbiques, la nitrificació no es destacable i el rendiment d'eliminació d'amoni no supera generalment el 30% (Kadlec i Knight, 2000).

Als aiguamolls verticals s'hi obtenen molts bons rendiments de conversió d'amoni a nitrat donat el caràcter aeròbic de gran part del llit. En general la nitrificació és total.

El nitrogen amoniacal entrant en un aiguamoll subsuperficial, sota unes condicions, pot ser adsorbit pel medi granular. Tot i així, és un procés reversible i al variar les condicions que l'estabilitzen, l'amoni pot retornar a l'aigua (Kadlec, Tanner, Hally i Gibbs, 2005).

En definitiva, la capacitat d'un aiguamoll per eliminar nitrogen depèn, entre altres factors, de les càrregues de nitrogen a l'afluent, les condicions ambientals i del tipus de vegetació creixent a l'aiguamoll. Tots aquests factors dificulten establir un interval de rendiment d'eliminació de nitrogen en un aiguamoll.

3.5.4. Fòsfor

L'eliminació del fòsfor en un aiguamoll de flux subsuperficial pot donar-se per processos biòtics i abiòtics. Els processos biòtics inclouen l'assimilació per part de la vegetació i microorganismes, i la mineralització de les restes de vegetació i del fòsfor orgànic. Els processos abiòtics inclouen la sedimentació, l'adsorció al sòl i els intercanvis entre el sòl i l'aigua residual que hi circula.

El grau d'adsorció és controlat pel pH, el potencial redox, la superfície d'adsorció disponible i la temperatura. Aquests reguladors poden ser utilitzats com indicadors per avaluar la capacitat de retenció del fòsfor al sòl dels aiguamolls.

De la mateixa manera que als sistemes convencionals de depuració, l'eliminació de fòsfor és complicada, sent el percentatge d'eliminació entre un 10% i un 20% del fòsfor inicial (García, Morató i Bayona, 2004).

3.5.5. Metalls pesants

Com a metalls pesants s'inclouen elements com el níquel, el manganès, el plom, el crom, el cadmi, el zinc, el coure, el ferro i el mercuri, entre d'altres. És conegut que alguns d'aquests elements són necessaris pel desenvolupament dels éssers vius, però el problema apareix quan aquests elements es troben en quantitats excessives.

Existeixen diferents processos per a l'eliminació de metalls entre els que es destaca l'adsorció i intercanvi de cations, els processos de reducció i oxidació (redox), l'assimilació per part de les plantes i la filtració.

El rendiment en l'eliminació de metalls pesants de l'aiguamoll està determinat per la capacitat dels organismes a sobreviure amb les concentracions de metalls. A l'arribar al límit de capacitat de retenció de metalls el rendiment disminueix (Chico, 2002).

3.5.6. Microorganismes patògens

De cara a garantir bones condicions sanitàries, especialment si els efluent es reutilitzaran, és important eliminar o reduir la concentració de microorganismes fecals. La ecologia dels microorganismes en un aiguamoll és complexa, sent els organismes importants des del punt de vista sanitari les bacteries patògenes i els virus.

Els aiguamolls ofereixen una combinació de processos físics, químics i biològics que permeten l'eliminació de microorganismes patògens com la filtració, la adsorció, la oxidació i la depredació (Kadlec i Knight, 2000). S'ha observat que tant en sistemes verticals com en els horitzontals l'eliminació és depenent del temps de permanència i del medi granular. A menor diàmetre granular, major és el nivell d'eliminació obtingut (García, Vivar, Aromir i Mujeriego, 2003).

Els aiguamolls construïts i especialment els de flux subsuperficial, afavoreixen la tendència natural de les poblacions microbianes mixtes a adherir-se i acumular-se formant biopel·lícules o biofilms (Characklis i Marshall, 1990).

Per conèixer la presència de patògens es necessari recórrer a la utilització de microorganismes indicadors, tot i que en alguns casos poden habitar de manera natural al aiguamoll depenent dels factors ambientals. Estudiant l'eliminació d'aquests microorganismes indicadors de contaminació fecal, com per exemple els coliformes, es pot avaluar l'eficiència d'eliminació de microorganismes patògens. Tot i així, l'avenç en tècniques microbiològiques indueix a pensar que en poc temps es disposarà de dades de microorganismes patògens pròpiament.

El grau d'eliminació obtingut en sistemes horitzontals i verticals és similar i oscil·la entre 1 i 2 unitats logarítmiques/100 ml aproximadament per tots els indicadors (Ottoyá, Balcaroyá i Vymazal, 1997). Aquest nivell d'eliminació no sol ser generalment suficient per produir efluent aptes pel rec agrícola, per exemple. En aquestes circumstàncies és recomanable dotar el sistema amb altres mètodes que afavoreixin la desinfecció.

3.5.7. Altres contaminants

Cada vegada hi ha més interès per contaminants emergents diferents dels que normalment s'han considerat a la tecnologia de la depuració d'aigües. Dins d'aquest camp s'inclouen els tensioactius, productes farmacèutics, productes d'ús personal i de neteja, i microorganismes com el *Cryptosporidium*.

En aquest moment les dades existents referents als aiguamolls subsuperficials són més bé escasses. No obstant, aquests aspectes s'estudien en l'actualitat i en pocs anys es disposarà de gran informació.

3.6. EL POTENCIAL REDOX

3.6.1. Definició del potencial redox

L'oxidació i la reducció són transformacions químiques que impliquen el moviment de protons i electrons entre molècules. Una reacció de oxidació–reducció es pot definir com dues mitges reaccions. Una consisteix en l'acceptació per part d'una molècula oxidada dels electrons que procedeixen d'una molècula reduïda.



i l'altre mitja semireacció és on la molècula reduïda perd un o més electrons:



Aquestes mitges reaccions generalment no solen produir-se per si soles ja que els reactius lliures són reactius en medis aquosos. Per tant, la reacció completa és la següent:



Així, OX_1 és la molècula oxidada i RED_2 és la molècula reduïda (Kadlec i Knight, 1996).

Cal destacar que, amb excepció de l'oxigen i de l'hidrogen, que tan sols poden ser, respectivament, oxidant i reductor, no existeixen molècules que siguin oxidants o reductores de forma absoluta.

Aquesta interacció es determina per mediació elèctrica i es caracteritza per la noció de potencial d'oxidació–reducció o potencial redox que es calcula mitjançant la següent fórmula:

$$E = E_0 + \frac{K}{n} \log \frac{|\text{Forma oxidada}|}{|\text{Forma reduïda}|} \quad (2-4)$$

On n és el nombre d'electrons que intervenen a la reacció d'oxidació–reducció i E_0 el potencial normal corresponent a l'equilibri $[\text{forma oxidada}] = [\text{Forma reduïda}]$.

3.6.2. Importància del potencial redox

El potencial redox mesura la capacitat global d'una aigua per oxidar o reduir les substàncies que conté. Valors elevats de potencial redox indiquen una presència a l'aigua de compostos oxidats tals com sulfats, nitrats, fosfats i matèria orgànica mineralitzada. D'altra banda, valors negatius indiquen ambients reductors molt acusats (Píriz, 2000).

Les reaccions d'oxidació–reducció es regeixen pels processos microbians i químics que succeeixen als sòls saturats dels aiguamolls i als sediments. L'oxigen és l'acceptor principal als sòls aeròbics utilitzat en reaccions redox. Els microorganismes utilitzen reaccions d'oxidació–

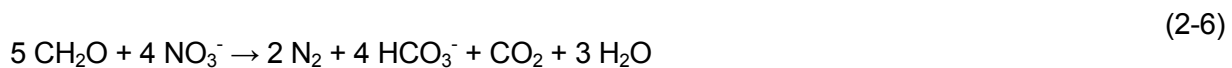
reducció per realitzar els processos de degradació de la matèria orgànica. Als sistemes aeròbics la reacció que té lloc és la reducció de l'oxigen present:



Als sòls anaeròbics (amb més presència als aiguamolls), no hi ha oxigen, els principals acceptors d'electrons són NO_3^- , MnO_2 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, SO_4^{2-} , i CO_2 .

Quan l'oxigen s'esgota, s'utilitza el nitrat com acceptor d'electrons, seguit pels compostos oxidats de manganès i els compostos de ferro. L'ordre d'aquestes reduccions és el mateix que indica les consideracions termodinàmiques (Reddy, 1986).

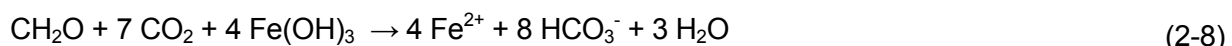
El següent oxidant a reduir-se a l'esgotar-se l'oxigen és el nitrat. Molts microorganismes poden utilitzar el NO_3^- com acceptor final d'electrons, procés anomenat desnitrificació:



Si el potencial redox segueix disminuint, el manganès és transformat des de manganat a altres compostos de manganès sobre els +200 mV (Laanbroek, 1990), procés conegut amb el nom de reducció del manganès:



Quan s'esgota el nitrat com acceptor d'electrons, s'inicia la reducció de l'òxid de ferro. Una ampla varietat de bacteries anaeròbies són capaces d'estalviar energia a través de les reduccions de Fe^{3+} a Fe^{2+} (Younger, 2002). Molts d'aquests microorganismes també tenen la capacitat de créixer mitjançant la reducció del Mn^{4+} a Mn^{2+} .



La reducció del sulfat es produeix quan el potencial redox cau per sota els -100 mV. Tan sols una petita quantitat de sofre reduït és assimilat pels microorganismes, i pràcticament tota la resta es alliberat a l'ambient extern com a sulfur (Wake, 1977).



La reducció del sulfat pot ser promoguda en disseny d'aiguamolls construïts per tal d'eliminar metalls amb sulfurs insolubles (Younger, 2000).

La producció de metà necessita unes condicions altament reduïdes, amb un potencial redox inferior a -200 mV, després que altres acceptors finals d'electrons es redueixin.



Les bactèries metanogèniques utilitzen hidrogen com a font d'electrons, però també poden utilitzar formiat (HCOO^-) o acetat (CH_3COO^-). El metà o s'allibera a l'atmosfera o s'oxida a CO_2 mitjançant bactèries metanòtrofes tan aviat com entra a la zona òxica.

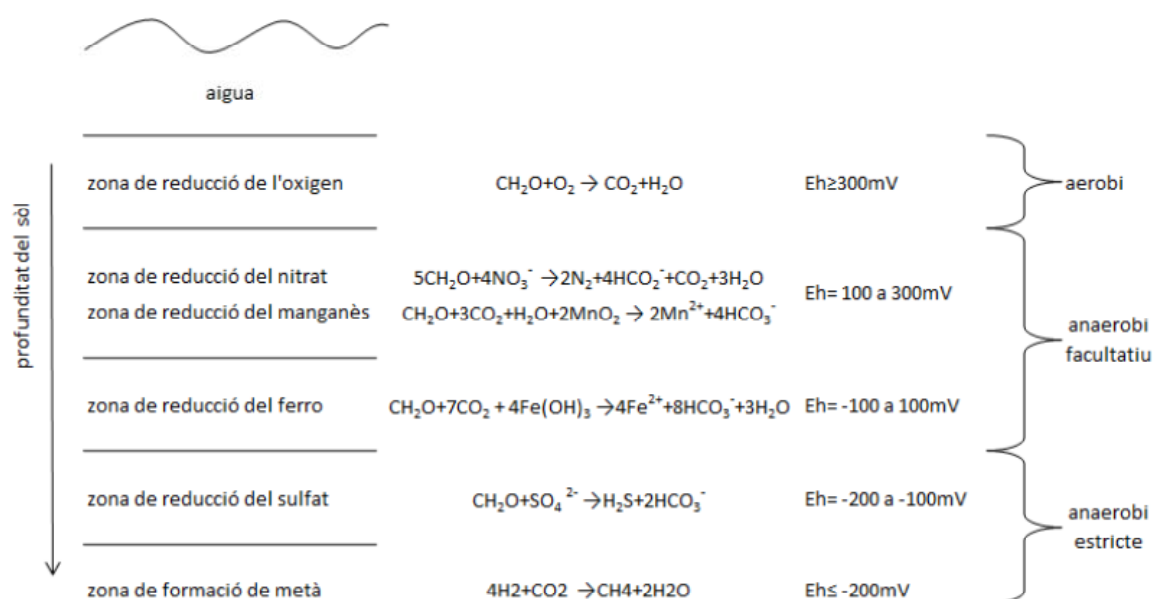


Figura 4. Hipotètica zonificació de redox vertical en els sòls d'un aiguamoll construït.
(Kadlec i Wallace, 2008)

De les reaccions anteriors els microorganismes poden obtenir una quantitat d'energia diferent. S'ha comprovat que la quantitat d'energia lliure està relacionada amb els valors de potencial redox existent a l'aigua. Les condicions redox d'una aigua determinen el tipus de comunitat biològica que s'hi desenvolupa (Píriz, 2000).

La mesura de potencial redox en aigües naturals, aigües residuals i en sistemes de tractament d'aigua ha estat considerat per diferents investigadors com a un índex útil de l'estat del sistema, si és aerobi o anaerobi, o del grau del tractament, en relació al grau d'oxidació biològica de la matèria orgànica en aigües residuals.

3.6.3. Influència dels criteris de disseny en les condicions redox

El rang de potencial redox en un aiguamoll, oscil·la normalment entre els +700 mV a la zona ben oxidada i els -300 mV a la zona fortament reduïda. Com s'observa a la figura 4 el potencial redox disminueix a mesura que la profunditat augmenta. D'aquesta forma a l'aiguamoll es diferencien tres zones, una aeròbia per sobre dels +300 mV, una altre facultativa entre -100mV i +300mV i per últim una anaeròbia per sota dels -100 mV.

Aquets gradients es veuen afectats per diferents condicions, com les fluctuacions hidràuliques, activitat del microorganismes, presència de plantes i concentració d'acceptors d'electrons.

3.7. PILES MICROBIANES

El concepte de microorganismes utilitzats com a catalitzadors en piles de combustible microbianes (MFC) s'ha explorat des dels anys 70 i 80. La MFC usada per tractar aigua residual domèstica fou introduïda per Habermann i Pommer (1991).

Les cel·les de combustible microbianes (MFC) s'han utilitzat experimentalment per al tractament d'aigües residuals municipals principalment basades en reaccions d'oxidació-reducció, però cal destacar la utilització d'aquest tipus de sistemes en la generació d'electricitat en sediments marins o d'origen llacunar com una aplicació tecnològica per a comunitats distants al subministrament d'energia (Bond, 2002; Holmes, 2005). L'objectiu principal en aquestes tecnologies ha estat l'obtenció d'energia en forma d'electricitat o hidrogen, amb l'addicional disminució de la demanda química d'oxigen (DQO).

El procés global es desenvolupa en la MFC composta de dues cambres separades per una membrana polimèrica, la qual és permeable al pas de protons. A la cambra anòdica, s'hi capturen els electrons alliberats al medi com a conseqüència de la degradació de la matèria orgànica. Aquests electrons que es generen, flueixen cap al càtode a través d'un circuit extern a la cel·la, que permet la generació de corrent elèctric. Per altra banda, els protons passen a través del polímer permeable. Una vegada dins la cambra catòdica, els protons reaccionen amb electrons i oxigen contingut a l'aire per formar aigua.

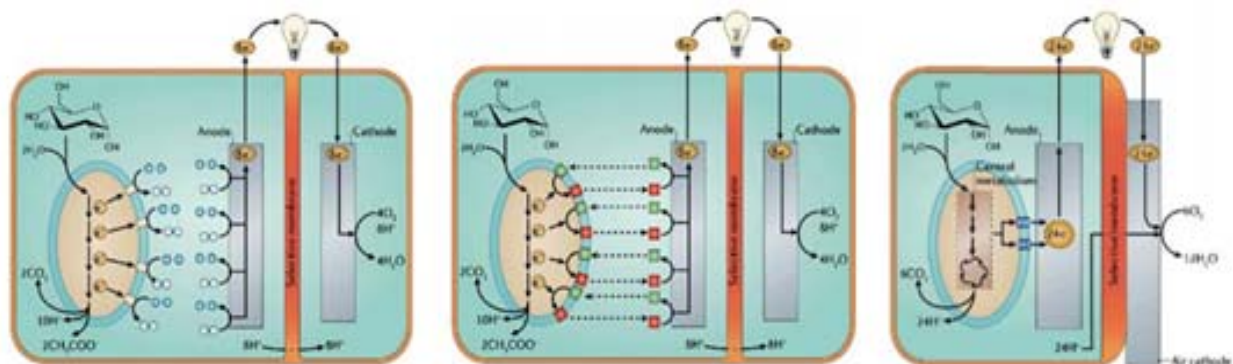


Figura 5. Procés d'obtenció d'energia d'una MFC (Pistonesi, Haure i D'Elmar, 2010).

Per altra banda, l'oxigen necessari al càtode es subministra mitjançant una convecció natural. Això és gràcies al contacte directe entre el càtode i l'ambient, evitant d'aquesta forma ruixar aire al medi o subministrar oxigen pur al sistema com és el cas de les cel·les electroquímiques d'hidrogen convencionals.

En una MFC les bactèries no transfereixen directament els electrons produïts al seu receptor terminal, si no que aquests són desviats cap a l'ànode. Aquesta transferència pot ocórrer de diferents formes, be sigui a través de la membrana cel·lular o a partir d'un mediador soluble. Els electrons flueixen a través d'un circuit extern.

Les MFC presenten certs avantatges sobre altres tecnologies utilitzades al generar energia a partir de matèria orgànica:

- La conversió directa del substrat a electricitat permet elevades eficiències de conversió.
- Operen eficientment a temperatura ambient, i fins i tot a baixes temperatures.
- No necessiten el tractament de biogàs generat a la cel·la.
- No requereixen d'energia externa per airejar el càtode, ja que pot ser airejat passivament.
- Tenen aplicació potencial en llocs allunyats amb absència d'infraestructura elèctrica, convertint-se amb una opció més d'energia renovable per les necessitats d'aquesta a nivell mundial.

3.7.1. Piles microbianes de sediment

En una pila de combustible microbiana de sediment (SMFC), l'ànode és enterrat al llit de l'aiguamoll i el càtode sura a la superfície de l'aigua, a la capa oxidada. La part submergida pot servir de suport al creixement vegetal i pot estar composta per diferents tipus de materials. A l'ànode, l'oxidació de compostos reduïts catalitzada per les bactèries és responsable del lliurament d'electrons a l'elèctrode anòdic. Els electrons passen a través del circuit, que conté un usuari d'energia, fins arribar al càtode. Al elèctrode catòdic reaccionen amb l'acceptor d'electrons disponible, principalment l'oxigen. Per tant, una pila de combustible microbiana de sediment és capaç d'extreure energia elèctrica a partir de l'oxidació de substrats bioconvertibles.

Fins ara, la investigació sobre les SMFC s'ha centrat principalment en ambients marins, produint potències sostingudes entre 9 i 16 mW/m² de superfície anòdica total. (Schamphelaire, 2008).

A la figura 6 es mostren quatre piles microbianes de sediment de manera esquemàtica. SMFC amb circuit tancat i sense plantes (Soil₀), SMFC amb circuit tancat i amb plantes (Soil₁ i Soil₂), SMFC amb circuit obert sense plantes (Soil_{oc})

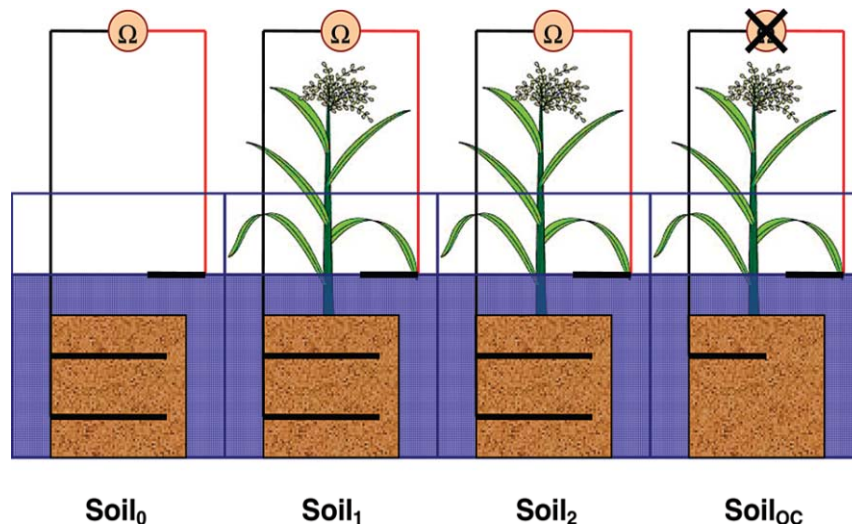


Figura 6. Representació esquemàtica d'una pila microbiana de sediment. (Schampelaire, 2008).

A part de produir energia, les SMFC presenten alguns avantatges respecte altres piles de combustible:

- Poden augmentar l'oxidació de compostos reduïts a l'ànode.
- Aplicar-se per controlar el processos redox que tenen lloc al llit de tractament.
- Degut a la manca de membrana permeable, són més econòmiques.

3.8. DIGESTIÓ ANERÒBICA

La digestió anaeròbica és un procés que s'ha consolidat des de 1970 a 1980 pel tractament d'aigües residuals d'alta i mitja càrrega. A principis dels 90 aquests sistemes s'han aplicat experimentalment amb bons resultats a tractaments de baixa càrrega (gran escala), com per exemple el cas d'afluents urbans (Jewell, 1987; Sanz and Fdz.-Polanco, 1990; Lettinga et al., 1994; Kato, 1994). S'ha posat en pràctica en països amb climes temperats i càlids perquè les baixes temperatures influeixen en l'eficiència dels sistemes UASB (Upflow Anaerobic Sludge Bed), causant una acumulació de fang no digerit dins del digestor. Una possible solució consisteix en instal·lar un sistema digestor de fangs addicional (USB) o un tractament hidrolític previ (HUSB, Hydrolytic Upflow Sludge Bed).

La principal aplicació de la digestió anaeròbia en el tractament de les aigües residuals urbanes consisteix en la utilització d'un digestor metanogènic d'un sol pas per a l'eliminació de la càrrega orgànica (Ruiz et al., 1998). Una altra opció, la qual s'ha dut a terme en aquest projecte, és la separació de fases, on l'aigua residual se sotmet només a un primer pas d'hidròlisi, sense prosseguir en les següents fases de la digestió anaeròbica. Alguns avantatges del tractament d'hidròlisi directa de l'aigua residual domèstica són els següents (Wang, 1994; Goncalves et al., 1994):

- Retira un elevat percentatge de sòlids suspesos.
- Estabilitza el fang, total o parcialment.
- Incrementa la biodegradabilitat de DQO restant
- Promou l'eliminació subseqüent de nutrients (N, P)

Per tal d'aconseguir la separació de les fases, el temps de retenció dins del digestor és el del líquid (TRH), evitant la conversió de certes fraccions en metà. Els sòlids suspesos totals (SST) tenen un temps de retenció (TRS), superior i formen un llit de fang, on algunes substàncies solubles s'adsorbiran. D'aquesta manera tant la matèria orgànica particulada com la soluble que és retinguda poden experimentar solubilització i fermentació.

Els estudis previs que poden ser utilitzats en aquesta fase, com a referència per obtenir dades d'aquests sistemes són escassos. Les experimentacions fetes per Goncalves et al. (1994) conduïen a uns nivells d'eliminació de SST majors de 69% a velocitats de circulació per sota de 1,5 m/h, resultats d'acidificació òptima en un TRH de 2,8h i a una temperatura de 20°C. Sobre el 60% dels àcids grassos volàtils (VFA) produïts va ser un resultat de la fermentació de la fracció soluble, el 40% restant correspon a la solubilització de la matèria orgànica insoluble. En un altre treball, Wang (1994) va aconseguir uns nivells d'eliminació de sòlids suspesos totals del 83% i del 43% per DQO en uns TRH de 2,5h.

Els paràmetres més importants a escollir en la fase de disseny són: El volum del reactor, el TRH i la velocitat de circulació.

4. OBJECTIUS

1. L'objectiu principal d'aquesta tesina és determinar els gradients d'oxidació-reducció d'un aiguamoll construït en funció del tractament primari.

Els objectius específics són els següents:

2. Mantenir una planta pilot de tractament d'aigua residual basada en aiguamolls construïts.
3. Determinar el perfil d'oxidació-reducció d'un aiguamoll construït en funció de la fondària.
4. Determinar la relació existent entre perfils verticals de DBO amb el potencial redox
5. Estimar la potència màxima teòrica que es pot aconseguir mitjançant la implementació de piles microbianes a aiguamolls construïts sota les condicions de disseny i operació considerades.
6. Realitzar un estudi de traçador i determinar la permanència de l'aigua residual.

5. MATERIALS I MÈTODES

L'estudi s'ha realitzat en una planta pilot de tractament ubicada a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona (ETSECCPB) del Campus Diagonal Nord de la Universitat Politècnica de Catalunya. Aquest sistema ubicat al terrat de l'edifici D1 tracta les aigües residuals provinents dels habitatges situats al nord-oest del barri de Pedralbes.



Figura 7. Situació del Departament d'Enginyeria Marítima Hidràulica i Ambiental. Fotografia aèria Google Maps

El sistema de tractament s'ha construït en el marc del projecte “Aplicación de Pilas Microbianas en humedales construidos para la optimización de la eficiencia de tratamiento, generación de electricidad y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero” del “Plan Nacional de I+D+i (MICINN)”, a inicis del 2011. S'ha escollit un sistema natural, concretament aiguamolls construïts de flux subsuperficial on hi arriba l'aigua residual d'una xarxa unitària captada per una bomba situada a una claveguera del carrer Gran Capità.

5.1. DESCRIPCIÓ DE LA PLANTA PILOT DE TRACTAMENT D'AIGUA RESIDUAL

El sistema de tractament d'aigua residual instal·lat al edifici D1 de l'ETSECCPB i que es pot observar a la figura 8 i figura 19 conté les següents estructures:

- Bombes de captació d'aigua residual a la xarxa unitària i col·lector d'arribada.
- Bomba d'enviament d'aigua residual a la planta de tractament.
- Pretractament consistent en unes reixes de matèria grossa.
- Tanc d'emmagatzematge d'aigua residual amb capacitat per 1 m³.
- Bombeig del cabal i conducció al tractament primari.

- Tractament primari consistent en 2 decantadors circulars.
- Tractament primari consistent en 1 HUSB
- Bombeig del cabal i conducció a una part del tractament secundari.
- Tractament secundari de depuració consistent en quatre aiguamolls construïts de flux subsuperficial.
- Reservoiris controladors del cabal de sortida de cada aiguamoll.
- Abocament a la llera pública.
- *Bypass* general de la planta.
- Tanc d'emmagatzematge d'aigua potable.
- Tancs amb flotador controladors de nivell.
- Vàlvules de pas i vàlvules antiretorn a les sortides dels aiguamolls

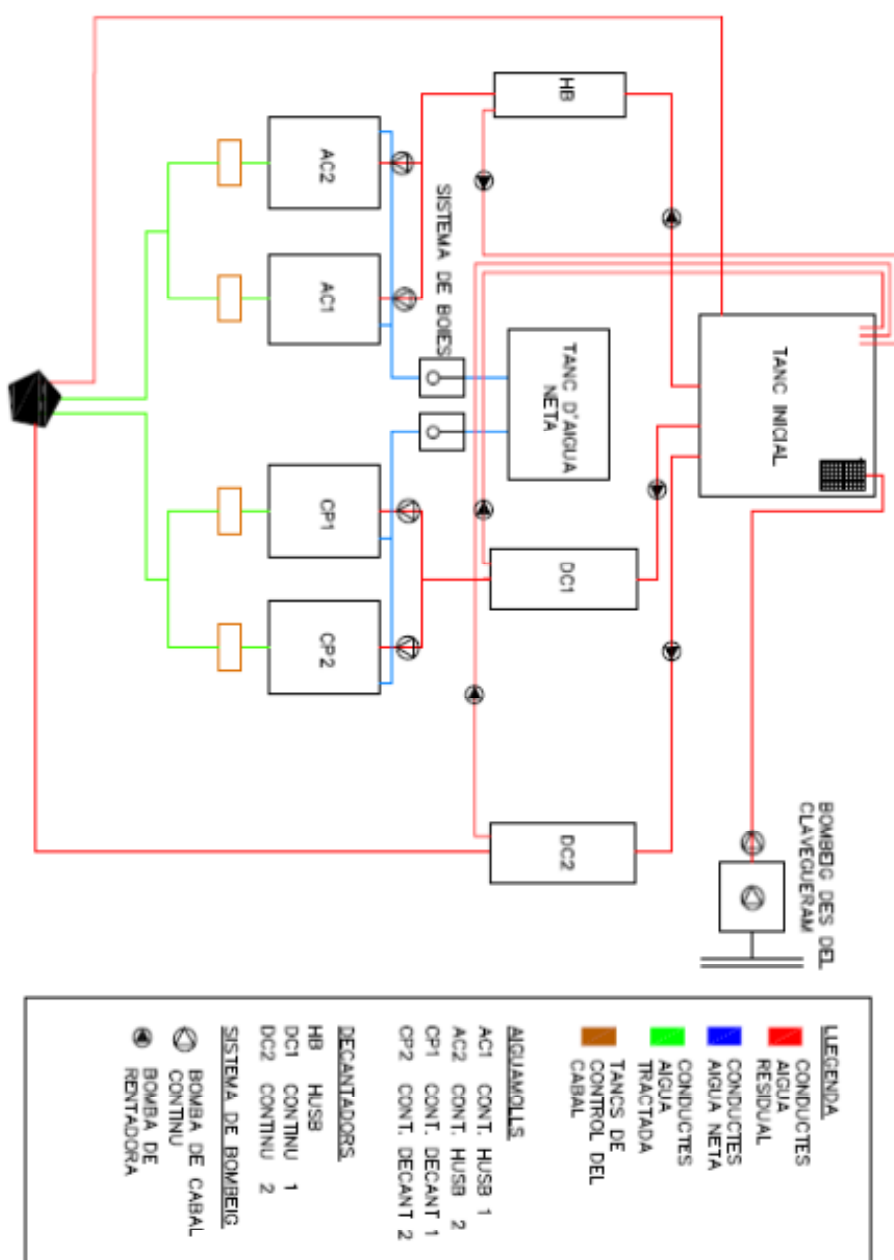


Figura 8. Esquema general de la planta pilot amb elements principals.

5.1.1. Bombes de captació i d'enviament, pretractament, tanc inicial i bypass

L'aigua residual captada a la xarxa unitària és conduïda a través d'un col·lector al laboratori del soterrani del DEHMA. A la claveguera de captació d'aigua residual hi treballen dues bombes connectades i controlades amb el tanc d'emmagatzematge d'aigua residual amb capacitat per 1 m^3 . Aquest tanc disposa d'un sistema amb boia que controla el nivell del mateix, i quan el nivell és inferior al marcat encén les dues bombes de captació. La primera bomba treballa durant 1 minut expulsant de la xarxa tots els sediments i material particular gran de la zona de captació, i la segona bomba envia l'aigua residual a les instal·lacions passat aquest primer minut.

Al laboratori del soterrani una tercera bomba envia l'aigua residual al tanc inicial d'emmagatzematge del sistema de tractament situat al terrat de l'edifici D1. L'aigua del tanc està en continua agitació. A l'entrada del tanc inicial tres reixes de neteja manual de diferent mida retenen el material particular que pugui afectar al funcionament i rendiment de la planta. Una canonada de *bypass* a la sortida del tanc permet transportar l'aigua a la llera pública en cas d'accident o necessitat.



Figura 9. (a) Vista global del tanc d'emmagatzematge d'aigua residual amb capacitat de 1 m^3 i bypass general (b) Motor mesclador, (c) Agitador de mescla, (d) Filtre, (e) Flotador per mantenir el tanc ple d'aigua.

5.1.2. Cabals tractats

Per al·l'estudi d'aquesta tesina, es va decidir fixar el cabal dels 4 aiguamolls a 21 litres al dia. Cal de comentar que aquest cabal bombejat als aiguamolls en algunes ocasions eran superior o inferior, degut als problemes amb la planta pilot.

5.1.3. Bombeig i tractament primari

L'aigua residual del tanc inicial és bombejada per diferents bombes de centrifugadora al tractament primari. Cada bomba condueix l'aigua a un decantador en concret o al sistema de Reactor Hydrolytic Upflow Sludge (HUSB).

5.1.3.1. Decantadors

Amb posterioritat a la fase de pretractament, generalment aconseguida a través de l'ús de pantalles, reixes o tamisos; una tècnica comuna utilitzada per separar els sòlids de la resta d'aigua residual és la sedimentació. Aquest procés es basa, simplement, en l'acció de la gravetat. L'aigua d'estudi quan entra al tanc redueix la seva velocitat i, com a conseqüència d'aquesta reducció, el material sòlid suspès, més pesat, s'enfonsa quedant recollit per un equip específic destinat a aquesta funció.

La decantació depèn dels següents factors:

- Mida de partícules: influeix en la velocitat de sedimentació. Com més gran és més gran és la velocitat.
- Velocitat de flux: s'escull en funció de l'eficiència necessària de separació. A més, si aquesta velocitat assoleix un valor límit, el material dipositat pot retornar a quedar en suspensió.
- El pes específic de les partícules.
- Concentració de sòlids suspesos: a concentracions més altes el procés és més eficient.
- Temperatura: a temperatures més altes la densitat dels líquids baixa i provoca una sedimentació més ràpida.
- Temps de retenció: a major temps de retenció s'aconsegueixen millors eficiències.
- Acció del vent a la superfície lliure de l'aigua.
- Forces elèctriques.

El paràmetre més important pel disseny de tots els dispositius és el Temps de Retenció Hidràulica (TRH). El TRH és el promig de temps de residència de l'aigua dins el sistema contenidor. El seu càlcul s'obté per mitjà de la proporció entre el volum (m^3) del sistema i el flux de l'aigua residual (m^3/h). Comunament s'accepta 2 hores per als tancs primaris que serveixen a tot tipus de plantes, excepte quan les precedeix un sistema de fangs activats, on TRH són 1,5 hores.

En la nostra planta pilot els decantadors alimenten el tractament secundari CP1 i CP2. Una bomba connectada a cada aiguamoll purga el sedimentat i ho bombeja a la llera pública.



Figura 10. Decantadors circulars del tractament primari.

5.1.3.2. Reactor Hydrolytic Upflow Sludge (HUSB)

El altre tractament primari en aquesta línia és constituït pel reactor HUSB (Hydrolytic Upflow Sludge Bed). L'aigua residual provinent de la fase de pretractament, assolida al tanc de mescla, arriba a una canonada que alimenta el HUSB des de la seva part inferior (figura 11). El flux d'aigua tractat que surt per la part superior del HUSB alimenta tres tancs de partició que tenen com a funció dividir, de manera equitativa, el volum d'aigua residual que prové del HUSB. Aquest cabal està controlat per quatre electrovàlvules localitzades de la següent manera: una situada en correspondència amb el tub de sortida del HUSB i les altres tres a l'entrada de cada tanc de partició. Cada tanc de partició es connecta a l'aiguamoll.

El reactor HUSB treballarà en continu però aportarà aigua residual als aiguamolls construïts només cada 2 hores. Els seus paràmetres de disseny són escollits en funció dels cabals que seran tractats i en el seu TRH que ha estat considerat de 3 hores (Wang, 1994; Gonçalves et al., 1994).

Escassos estudis previs s'han dut a terme en el marc d'aquesta tecnologia i cap d'ells amb una escala tan reduïda. Per aquesta raó es va decidir sobredimensionar aquesta unitat introduint un sistema intermedi posterior al reactor HUSB, i que s'encarregui de controlar el volum efectiu alimentant els aiguamolls construïts per tres tancs de partició.

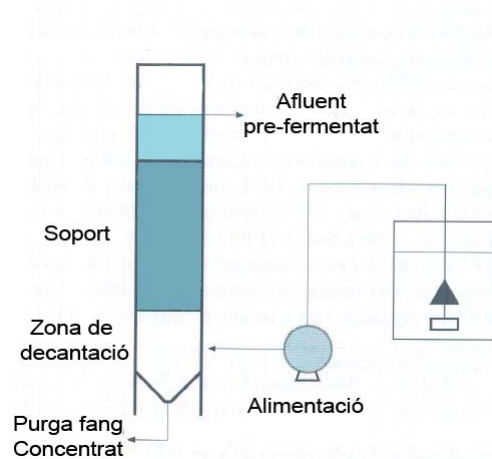


Figura 11. Esquema representatiu dels Sistema primari. que alimenta als aigüamolls.(elaboració pròpia)

El tub utilitzat pel reactor HUSB presenta les següents característiques:

$$D_{HUSB} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Superfície} = 707 \text{ cm}^2$$

$$H_{HUSB} = 150 \text{ cm}$$

El volum que s'emmagatzema dins és de 106 L i, per tant, el cabal és:

$$\text{Cabal } (Q) = \frac{\text{Volum } (l)}{\text{TRH } (h)} = \frac{106 \text{ L}}{3 \text{ h}} = \frac{35,3 \text{ L}}{h} = 0,848 \text{ m}^3/d \quad (4-1)$$

El cabal necessari, aproximadament 21 l/dia, per alimentar contínuament el HUSB és subministrat per un sistema de bombeig. La purga de fang es fa quan s'observa un augment de la seva concentració, sent el seu límit en 10 g Sòlids Suspesos Volàtils /L.

Com el HUSB treballa amb condicions anaeròbies, es tapa amb un recobriment plàstic proveït d'un sistema que recull la possible producció de metà i està soldat per tal d'evitar que l'aire entri a dins del sistema (Figura 12).



Figura 12. (a) Tub de PVC utilitzat per construir el HUSB.(b,d) Embut amb T depolietilè a la base del reactor.(c) Ubicació al terrat del reactor HUSB (e) Aixetes d'alimentació i canonada de descàrrega.

5.1.4. Bombeig i tractament secundari

El tractament secundari consta de quatre aiguamolls construïts de flux subsuperficial horitzontal de $0,05\text{m}^3$ aproximadament cadascun. Agrupats en funció de la procedència del tractament primari. El quatre aiguamolls estan alimentats amb aigua residual de forma continua. També els quatre aiguamolls tenen la presència de *Canyís* (*Phragmites australis*).

A la figura 14 i a la taula 5.1, mostrada a continuació, es poden observar les dades referents al dimensionat dels aiguamolls i a la hidràulica del sistema:

Camp	Paràmetre	Valor	Unitat
Dimensionat aiguamoll	Llargada	70.50	cm
	Amplada	55.25	cm
	Alçada	39	cm
	Superfície	0.39	m^2
	Diàmetre canonada interior	20	cm
Nivells a l'aiguamoll	Grava	35	cm
	Aigua	30	cm
Volums	Aiguamolls	0.15	m^3

	Grava	0.14	m ³
	Aigua	0.05	m ³
Porositat	Grava	0.4	
Cabal tractat	Aigua	21	L/dia

Taula 5.1.- Dimensionat dels aiguamolls i hidràulica del sistema.

L'espècie vegetal plantada compleix tots els requisits necessaris per al tractament, té una gran capacitat colonitzadora mitjançant rizomes, desenvolupa una elevada densitat de tiges, té una gran superfície específica per l'assentament de poblacions bacterianes i té un sistema eficient de transport d'oxigen cap a la zona anaeròbia.



Figura 13. Imatges del Tractament secundari de la Planta Pilot.

A tots als aiguamolls hi ha grava amb un diàmetre aproximat de 6-7 mm ocupant una profunditat de 0.35 m, amb un nivell d'aigua a l'interior de 0.3 m. A la sortida dels aiguamolls hi ha connectada una canonada de polietilè que permet controlar la sortida i l'alçada d'aigua a l'interior del llit de l'aiguamoll.

El cabal entrant a cada aiguamoll del sistema de tractament depèn d'uns paràmetres de disseny fixats amb uns valors recomanats per aquest tipus de tractament. El temps de residència hidràulica (THR) i la demanda bioquímica d'oxigen (DBO).

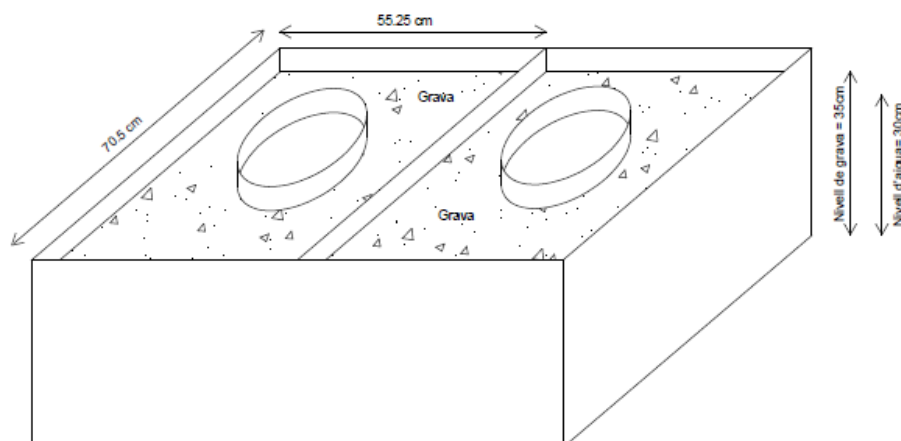


Figura 14. Dimensionament d'un aiguamoll del sistema secundari de tractament.

El temps de residència hidràulica o el temps de permanència de l'aigua residual al sistema ha d'estar entre 3 i 5 dies.

La demanda bioquímica d'oxigen de l'aigua de sortida o aigua tractada ha de ser al voltant de 5 i 6 g de DBO/m² i dia.

Coneixent el contingut de DQO de l'aigua residual d'entrada, 2.8 g/dia, es presenten els càlculs que demostren que amb un cabal diari de 21L es compleixen les condicions establertes.

$$TRH = \frac{Volum (m^3)}{Cabal (\frac{m^3}{dia})} = \frac{0.05}{0.021} = 2.70 \text{ dies} \quad (4-1)$$

$$\frac{DQO_s}{DBO} = 1.5 \quad (4-2)$$

$$\frac{2.5 \text{ g DBO}_s}{dia} \cdot \frac{1}{0.39 \text{ m}^2} = 6.41 \frac{\text{g DBO}}{\text{m}^2 \cdot dia} \quad (4-3)$$

Per aquesta raó, a la línia d'aiguamolls d'alimentació s'hi bombeja un cabal aigua residual de 0.875 l/h per aiguamoll, que suposen els 21 l/dia necessaris en aquest experiment. El temps entre descàrregues és de vuit hores.

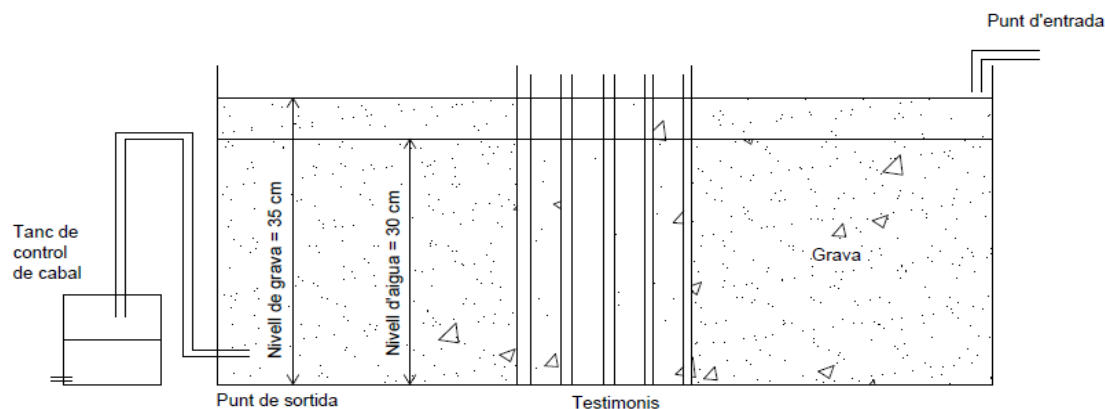


Figura 15. Vista en perfil d'un aiguamoll del sistema de tractament.

5.1.5. Reservoris controladors del cabal de sortida

El cabal de sortida del sistema està controlat mitjançant uns reservoris amb capacitat per a 22 litres col·locats i connectats a les sortides dels aiguamolls. Un dels requisits d'aquest estudi és conèixer exactament el cabal circulant als aiguamolls, d'aquí la importància del seguiment de les variacions del paràmetre. Els possibles accidents de funcionament de la planta i les influències climatològiques es poden observar i solucionar diàriament.



Figura 16. Reservoris controladors del cabal de sortida de la planta.

5.1.6. Sistema controlador del nivell d'aigua dels aiguamolls

Les altes temperatures durant l'estació d'estiu, provoquen la disminució del volum hídic a l'interior dels aiguamolls per evaporació de l'aigua. Aquest problema s'accentua encara més als aiguamolls plantats, on s'hi afegeix el consum d'aigua per part de la vegetació.

El sistema consta d'un tanc d'emmagatzematge d'aigua potable i de tres vàlvules flotadors que controlen el nivell al llit de l'aiguamoll mitjançant el mètode de vasos comunicants. Aquest fenomen succeeix quan es posen en comunicació dos dipòsits que contenen el mateix líquid que inicialment està a diferent altura, el nivell d'un dels dipòsits baixa i puja el de l'altre fins que ambdós s'igualen.

Als tubs que uneixen els aiguamolls amb els dipòsits de les vàlvules flotadors s'hi ha col·locat vàlvules antiretorn que només permeten el pas del líquid en una sol sentit, en aquest cas, del dipòsit del flotador a l'aiguamoll. I mitjançant una clau a la sortida de cada aiguamoll es possible tancar el flux d'aigua.



Figura 17. A) Sistema controlador del nivell d'aigua dels llits dels aiguamolls. B) Vàlvula antiretorn.

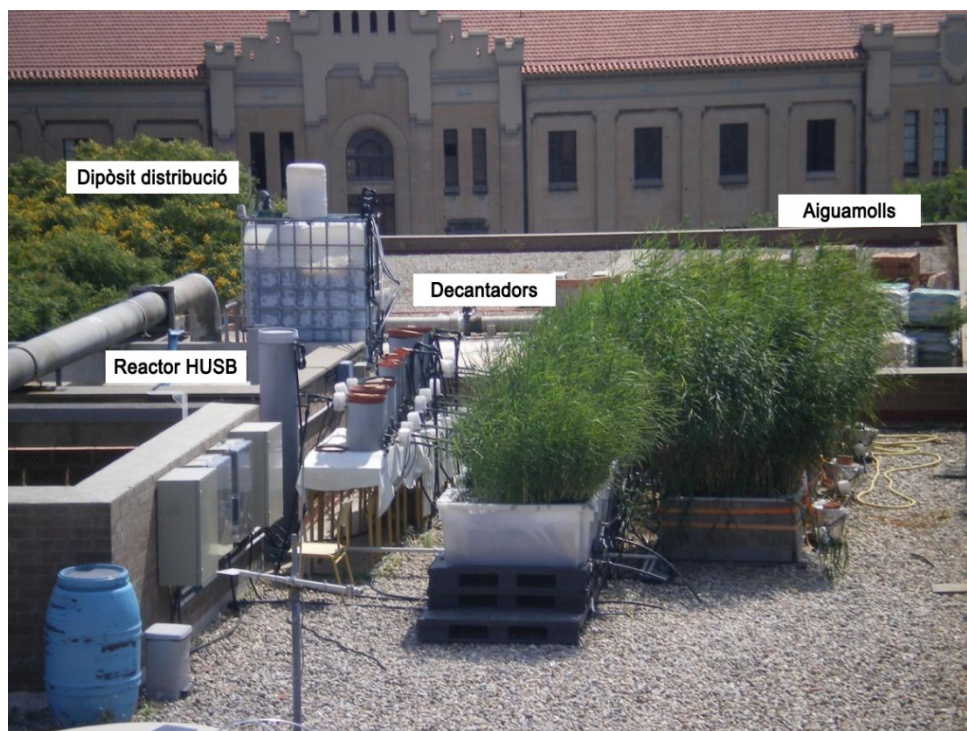


Figura 18. Fotografia de la planta on es poden veure clarament el dipòsit de distribució, el tractament primari (decantadors i reactor HUSB) i el tractament secundari (aiguamolls) (imatge cedida per Joan García).

5.2. POSTA EN MARXA I MANTENIMENT DE LA PLANTA PILOT

El 8 de maig de 2012 s'inicia la posta en marxa de la planta pilot amb el treballs poda i neteja dels tubs i reservoris degut a la parada a la que va estar sotmesa. Des d'aquesta data comencen les tasques de vigilància, manteniment i correcció de problemes fins al final de l'estudi experimental.

5.3. ANÀLISI FÍSICOQUÍMIC

Durant el transcurs d'aquest estudi experimental l'anàlisi de l'aigua residual i l'aigua tractada s'ha realitzat un dia a la setmana al laboratori del DEHMA.

5.3.1. Demanda química d'oxigen (DQO)

La demanda química d'oxigen és un paràmetre utilitzat per caracteritzar la qualitat de l'aigua bé ja sigui potable o residual (urbana o industrial). Tal com es comenta a l'apartat 3.5.2, representa la quantitat d'oxigen equivalent a la de l'oxidant químic necessari per oxidar la matèria orgànica present en una mostra d'aigua i transformar-la en diòxid de carboni i aigua.

La DQO s'analitza en diferents parts de la planta pilot de tractament. A l'entrada de la sortida del tractament primari i a la sortida de cada aiguamoll del sistema secundari. De cada lloc mostrejat, es determinarà la DQO total i la DQO soluble.

En aquest estudi experimental s'ha utilitzat el mètode de reflux tancat o mètode colorimètric, on gran part de la matèria orgànica s'oxida per efecte d'una mescla calenta de dicromat i sulfúric. El dicromat de potassi és l'agent oxidant àmpliament utilitzat degut a una major capacitat oxidant, a la seva aplicabilitat a diferents tipus de mostres i a la seva senzillesa de realització. El crom (VI) és cancerigen i perillós per el medi ambient, i potser en un futur és substituït per permanganat de potassi.

L'equipament a utilitzar, a més dels reactius que es citen a la metodologia, són els següents: espectrofotòmetre, bloc digestor selecte o equivalent, balança i agitador magnètic. El material a utilitzar és el següent: tubs amb rosca per micro DQO, matràs aforat, espàtula, gradeta amb suport porta-tubs, pipetes aforades i conta gotes. L'espectrofotòmetre i el bloc digestor s'observen a la figura 21.

La metodologia o procediment seguit (APHA, WPCF i AWWA, 1995) és;

Encendre el digestor i ajustar la temperatura a 150°C i el temps a 2 hores. Es realitzaran dues rèpliques de la DQO tan per les mostres, el blanc i patrons.

Passar pel filtre part de les mostres recollides prèviament i preparar els tubs de digestió (nets i secs) en una gradeta.



Figura 19. Gradeta i tubs amb rosca del laboratori DEHMA.

Afegir en cada tub de digestió i en aquest ordre; 2.5 ml de mostra (per al blanc serà 2.5 ml d'aigua desionitzada), 1.5 ml de solució digestora, i 3.5 ml de solució d'àcid sulfúric.

Tapar els tubs de digestió amb tap de rosca. Assegurar que quedin ben tancats a l'augmentar la pressió en generar-ne gasos a la reacció. Agitar els tubs suaument varies vegades per tal d'homogeneïtzar la mescla.

Introduir els tubs al bloc digestor a 150°C i deixar transcórrer 2 hores.



Figura 20. A) Bloc digestor al laboratori DEHMA. B) Espectrofotòmetre al laboratori DEHMA.

Retirar els tubs del bloc digestor i deixar refredar a temperatura ambient a la mateixa gradeta.

Netejar exteriorment els tubs amb alcohol per evitar impureses que afectin a la lectura de l'absorbància.

Llegir l'absorbància de les dos rèpliques del blanc, insertant un a un el tub a l'interior de la cel·la del espectrofotòmetre. Amb el valor d'absorbància llegit més baix del replicat corresponent, ajustar a zero.

Llegir l'absorbància de les mostres i anotar el valor més baix de cadascun dels replicats.

Trobar el valor de DQO de les mostres substituint a l'equació de regressió del calibrat.

La DQO, expressada en mg d'oxigen per litre, a partir de la recta de calibratge es calcula mitjançant la següent fórmula:

$$DQO = \left[\frac{(ABS_{600})_{mostra}}{m} \right] \cdot \frac{V_M}{V_{aliquota}} \quad (4-4)$$

On,

ABS_{600} : lectura d'absorbància de la mostra a 600 nm de longitud d'ona.

m: pendent de la recta de calibratge.

V_M (ml): volum de l'aforament del matràs usat en la dilució de la mostra.

$V_{aliquota}$ (ml): volum de mostra tornada per ser diluïda i utilitzada en la determinació de la mostra.

Si no és necessària la dilució de la mostra, llavors el quocient entre el volum de l'aforament del matràs entre el volum d'aliquota de mostra no s'aplica al càlcul.

Al llarg de tot l'estudi de l'estudi experimental s'han realitzat els assaigs de DQO corresponents als 10 punts de mostreig establerts. Com s'ha comentat anteriorment, per determinar la DQO soluble les mostres es filtren. Els valors obtinguts en el càlcul es poden observar a l'annex 1.

5.3.2. Demanda biològica d'oxigen (DBO)

La DBO s'analitza en diferents perfils de la planta pilot de tractament, a 5 cm, 15 cm i 25 cm. El mostreig es realitza mitjançant la introducció de tres pipetes regulades l'alçada de cada un dels perfils desitjats i repetint aquesta operació fins aconseguir el volum de mostra desitjada. De cada lloc mostrejat, es determinarà la DBO total i la DBO soluble.



Figura 21. OXITOP i nevera termoregulada del laboratori DEHMA.

Per l'estudi de la DBO, es va determinar per realitzar DBO a 5 dies, mitjançant BOD-Oxitop IS 6 (Globgal Water) per mesurament de la diferència de pressió en un sistema tancat (determinació respiromètrica de la DBO) per un període de 5 dies (DBO₅). Les mostres van ser sotmeses a anàlisis durant les primeres 24 hores des de la seva obtenció. L'anàlisi es va dur a terme d'acord les especificacions del fabricant de l'equip, seguint en cada mostra els següents passos:

Primer de tot s'ha de determinar el volum de mostra a analitzar ja que hi ha d'haver un consum mínim d'oxigen de 2,0mg/L i ha de quedar un mínim d'oxigen dissolt residual de 1,0mg/L. Per estimar el volum de mostra necessari utilitzem el resultat de la DQO sabent que normalment el valor la DBO esperat es troba entre un 50-70% de la DQO de la mostra analitzada. (Taula 5.2)

Es va comprovar que el pH de la mostra es trobés entre 6,5 i 7,5; ajustant si era necessari amb HCl o NaOH segons correspongués. També s'han de col·locar 3 ó 4 lleties de NaOH als taps de goma per tal que el CO₂ produït durant la degradació de la matèria orgànica no afecti al valor real de la DBO.

Un cop es col·loquen els agitadors magnètics, els taps de goma i els capçals de les ampolles, s'activen les mostres tal i com indica el manual del DBOmetre, les mostres s'han d'introduir en el DBOmetre i deixar en agitació durant un temps determinat i a temperatura de 20°C.

Convert the displayed measured value (digits) into the BOD value with the following table	Sample Volumen (ml)	Measuring range (mg/l)	Factor
Digits x Factor = BOD5 in mg/l):	432	0-40	1
Patró (DBO teòric aprox 200 mg/l):	365	0-80	2
H ₂ O dilució saturada de O ₂ 1 litre	250	0-200	5
Glutamic 0,15 g	164	0-400	10
Glucosa 0,15 g	97	0-800	20
7 ml de H ₂ O residual (inoculo)	43.5	0-2000	50

Taula 5.2. Taula de referència pels valor de DBO necessària segons el rang present en la mostra d'estudi. (Laboratori DEHMA)

En acabar el període d'incubació, es va realitzar la lectura de la DBO5 directament en pantalla, obtenint els resultats en mg/L d'O₂. Els valors van ser ajustats segons la dilució emprada.

5.3.3. Amoni

L'amoni s'analitza a l'entrada del sistema de tractament secundari i a les sortides dels aiguamolls del sistema de tractament secundari. Per tant, hi ha un total de 8 mostres a quantificar.

La determinació colorimètrica d'amoni està basada en un mètode desenvolupat per Solórzano, conegut com el mètode colorimètric de l'Indofenol. En un medi alcalí ($\text{pH} \approx 12$, taponat amb Citrat de sodi) i en presència de Nitroprussiat de sodi com a catalitzador de la reacció, el ió amoni (NH_4^+) present a la mostra, és tractat amb una solució d'Hipoclorit sòdic per obtenir Monocloramina.

En aquest mètode la monocloramina reacciona amb un fenol substituït donant Blau d'Indofenol de color blau. La intensitat del blau d'indofenol és proporcional a la concentració d'amoníac present a la mostra. Aquesta propietat s'utilitza per la seva quantificació per espectrofotometria a una longitud d'ona pròxima a 640 nm.

El nitrogen amoniacal, N-NH_4^+ , es troba en part sota la forma d'ió amoni NH_4^+ i una altra part com Amoníac NH_3 , existint un equilibri químic entre aquestes dues espècies químiques. El rang de validesa d'aquest mètode està entre 0 i 1 ppm N-NH_4^+ sent la relació (N-NH_4^+): NH_4^+ = 1:1.288. L'equipament a utilitzar és el següent: espectrofotòmetre, agitador magnètic i balança. El material necessari és: pipetes aforades, matràs aforat, erlenmeyers, provetes i micropipetes.



Figura 22. Espectrofotòmetre del laboratori DEHMA.

El procediment per realitzar aquest assaig és el següent (Solórzano, 1969):

Agafar 50 ml de mostra amb una pipeta aforada i abocar-ho a un erlenmeyer. Repetir-ho amb blanc amb 50 ml d'aigua desionitzada.

Addicionar sobre la mostra els volums de reactius en aquest ordre; 2 ml de nitroprussiat de sodi, 2 ml de solució alcohòlica de fenol (10%), 5 ml de solució oxidant.

Després de cada addició, agitar el contingut de l'erlenmeyer per mesclar els reactius.

Transcorregut el temps de reacció, 90 minuts, mesurar l'absorbància de la mostra i anotar el valor corresponent.

Si el valor de l'absorbància de la mostra, és superior al valor màxim obtingut en la determinació de la corba de calibratge, serà necessari diluir la mostra.

El càlcul de la concentració de N-NH_4^+ en mg/L de la mostra:

$$\text{N-NH}_4^+ = \left[\frac{(\text{ABS})_{\text{mostra}}}{m} \right] \cdot \frac{V_{(\text{mL})}}{V_{\text{aliquota}}} \quad (4-5)$$

On,

ABS: lectura d'absorbància de la mostra.

m: pendent de la recta de calibrat.

V_m (ml): volum del aforament del matràs utilitzat en la dilució de la mostra.

V_{aliquota} (ml): volum de mostra presa per ser diluïda i utilitzada en la determinació colorimètrica.

Si no és necessària la dilució de la mostra, llavors el quocient entre el volum del aforament del matràs i el volum d'aliquota de mostra no s'aplica al càlcul.

5.4. MESURES REDOX

El treball realitzat es centra en l'observació del comportament redox dels aiguamolls construïts de flux subsuperficial, per tant tots els punts de mostreig es situen al tractament secundari. Per aquest estudi s'han agafat 24 punts de mostreig, a tres profunditats diferents per a cada aiguamoll. A 5, 15 i 25 cm de profunditat respecte la capa superficial.

El potencial redox es mesura amb elèctrodes de platí connectats a uns equips que mesuren una senyal d'intensitat i la transformen en una senyal de voltatge. L'elèctrode envia un senyal d'intensitat al cos o equip de mesura i aquest el transforma en un senyal de voltatge. Els equips de mesura del potencial redox estan connectats amb un dispositiu de monitoratge, adquisició i registre de dades, dataTaker DT50, programat per emmagatzemar dades cada 10 segons de fracció de temps. Amb l'ajuda del programa Data Logger les dades registrades es poden descarregar a un ordinador. Els valors d' E_H han estat corregits amb l'elèctrode normal d'hidrogen amb l'addició de +200 mV.



Figura 23. A) Sonda i cos de mesura redox. B) Col·locació de les sondes al del lit de tractament.

Per realitzar els perfils redox es submergien les tres sondes de mesura simultàniament als punts de mostreig amb l'ajuda de la malla de plàstic mostrada a la figura 24.

L'estudi del mesurament redox s'ha dividit en quatre campanyes. A cada campanya s'ha mostrejat una vegada cada aiguamoll durant almenys de 24 hores seguides. A la taula 5.3 es pot veure la disposició temporal de cada campanya.

Campanyes	Període Temporal
Campanya 1	7 de Maig al 6 Juny
Campanya 2	7 de Juny 19 de Juliol
Campanya 3	9 de Setembre al 19 de Setembre
Campanya 4	17 de Desembre al 2 de Gener

Taula. 5.3 Disposició temporal de les campanyes realitzades durant l'estudi.



Figura 24. Posició de les sondes a l'interior de la malla de plàstic.

6. RESULTATS

En aquest capítol es presenten algunes característiques generals del funcionament del aiguamolls, els valor obtinguts en el paràmetres analitzats de l'aigua residual i per perfils redox obtinguts analitzarem les tres campanyes realitzades de les quatre en total.

La recollida de dades ha sigut realitzada als aiguamolls de flux horitzontals que tracten les aigües residuals provinents dels habitatges del nord-est del barri de Pedralbes. Les campanyes de mostreig redox comprenen els mesos de maig, abril, juny, juliol del 2012. I l'anàlisi fisicoquímic del aigua maig al agost del 2012.

6.1. ANÀLISI FISICOQUÍMIC

Ara veurem els anàlisis de l'aigua tractada que es fa durant els mesos de maig i l'agost, en el qual es realitza els anàlisis la demanada química d'oxigen, l'amoní durant aquest període de temps establert.

6.1.1. DQO

A continuació veurem els resultats obtinguts de la demanada química d'oxigen total (DQO_t) a la sortida i la entrada dels aiguamoll. Durant aquest període de temps també es va realitzar els anàlisis .demanada química d'oxigen soluble. Aquests resultats no han sigut inclòs en aquesta tesina, per falta de veracitat, ja que s'han tribat errades experimentals que distorsionen els resultats.

6.1.1.1. DQO Total

Ara mostrarem els resultats de la concentració de matèria orgànica total (DQO) que s'elimina al mitjançant el sistema de tractament amb decantadors (figura 25) o amb HUSB (figura 26)

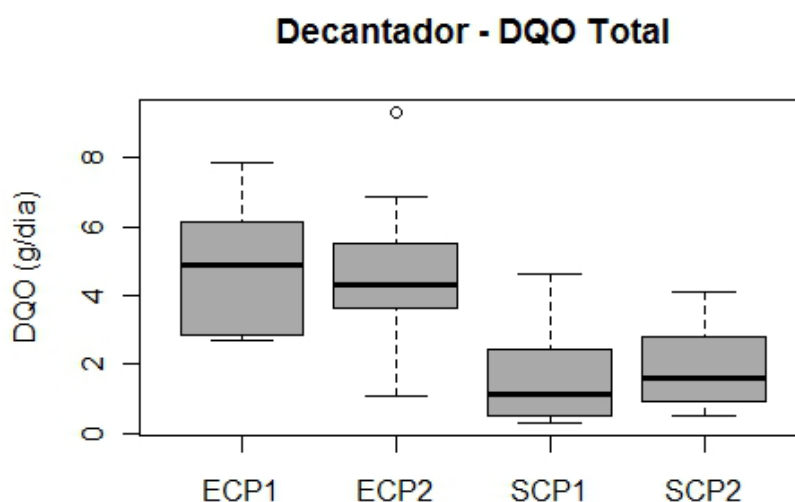


Figura 25. Valors de DQO total a la planta pilot de tractament d'aigua residual. Aiguamolls amb decantadors.
Boxplot on es mostra el primer i tercer quartil, els percentils 5 i 95, la mitjana i la mitjana aritmètica. On ECP1 i ECP2 son les entrades i SCP1 i SCP2 les sortides de l'aiguamoll.

Al sistema alimentat amb els decantadors, figura 25, s'hi observa un valor mig de DQO total a la sortida de 5 g/dia i uns valors de sortides de 2 g/dia, el que fa que produeixi un factor d'eliminació aproximat del 64 %

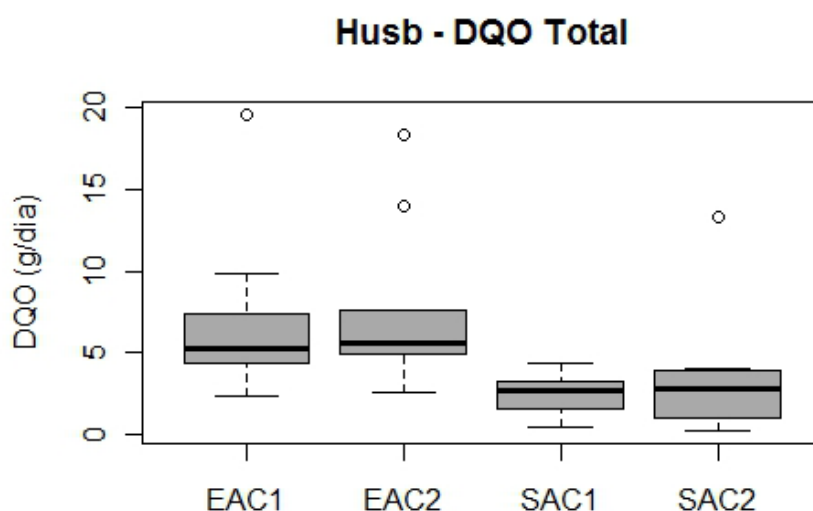


Figura 26. Valors de DQO total a la planta pilot de tractament d'aigua residual. Aiguamolls amb HUSB.
Boxplot on es mostra el primer i tercer quartil, els percentils 5 i 95, la mitjana i la mitjana aritmètica. On EAC1 i EAC2 son les entrades i SAC1 i SAC2 les sortides de l'aiguamoll.

Amb el sistema secundari alimentat pel HUSB podem veure que a la sortida dels aiguamolls estudiats els valors d'entrada els situem 7,5 g/dia, mentre que els valor de sortida dels aiguamolls estan situats els 1,7 g/dia. Tenim doncs un factor d'eliminació del 42 %

6.1.2. Amoni

Volem observar ara l'estudi realitzat al laboratori de la concentració d'amoni a la sortida de l'aiguamoll segons el tractament primari estudiat.

Ala figura 27 veiem les concentracions d'amoni (NH_4^+) a les entrades i a la sortida dels aiguamolls amb tractament primari amb decantadors, i a la figura 28 veiem els aiguamolls amb el HUSB com a tractament primari.

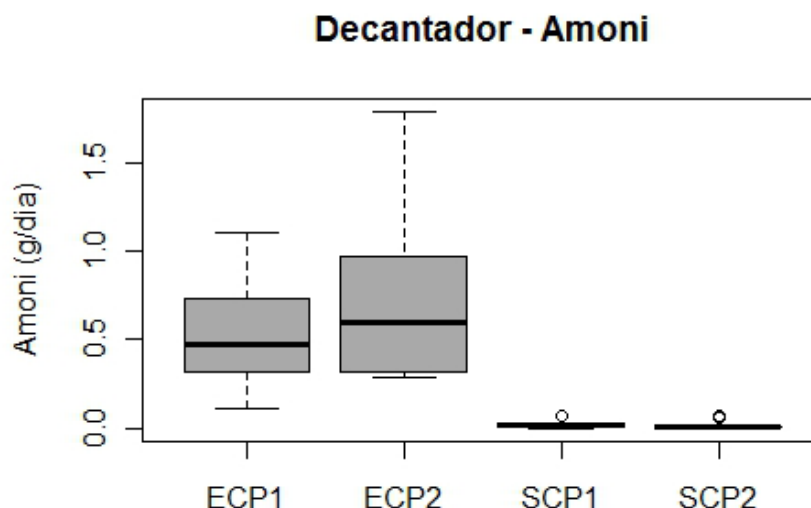


Figura 27. Valors d'amoni a la planta pilot de tractament d'aigua residual. Aiguamolls amb decantadors. Boxplot on es mostra el primer i tercer quartil, els percentils 5 i 95, la mitjana i la mitjana aritmètica. On ECP1 i ECP2 son les entrades i SCP1 i SCP2 les sortides de l'aiguamoll.

Es pot observar a la figura 27, que els valor de sortida dels aiguamolls son gairebé nuls, (0,02 g/dia) i els valors d'entrada als aiguamolls són de 0,6 g/dia, amb un factor d'eliminació de 97 %

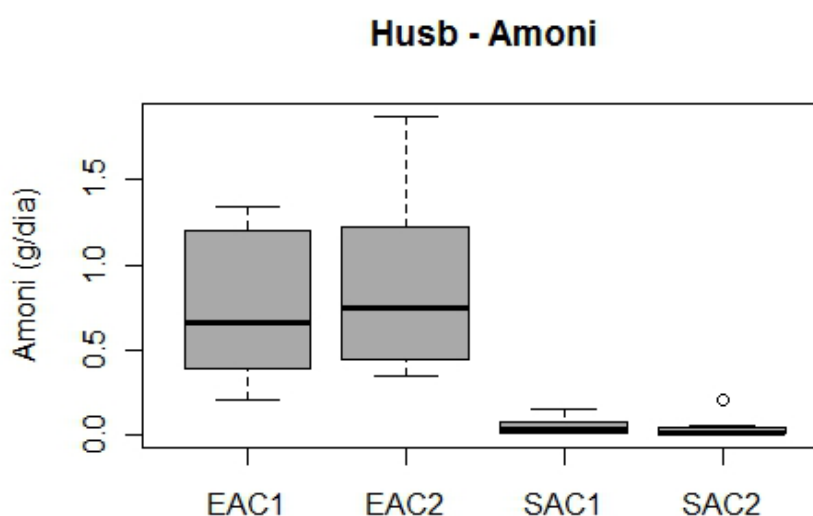


Figura 28. Valors d'amoni a la planta pilot de tractament d'aigua residual. Aiguamolls amb HUSB. Boxplot on es mostra el primer i tercer quartil, els percentils 5 i 95, la mitjana i la mitjana aritmètica. On EAC1 i EAC2 son les entrades i SAC1 i SAC2 les sortides de l'aiguamoll.

A la figura 28 podem veure com els valor són bastants semblats als del sistema secundari alimentat amb decantadors. És així que veiem que a l'entrada dels aiguamolls tenim un valor 0,8 g/dia, el que juntament amb els valors de sortida ens fa tenir una eficiència d'eliminació de 96%

6.1.3. DBO

En aquesta secció veurem els resultats obtinguts dels perfils dels anàlisis de DBO_5 solubles realitzats als aiguamolls.

A la figura 29 veiem com els valors de sortida dels aiguamolls alimentats pel HUSB són superiors als alimentats pels decantadors amb valors de 30 mg d' O_2 . I pels alimentats pel HUSB arribem a valors de 50 mg d' O_2 .

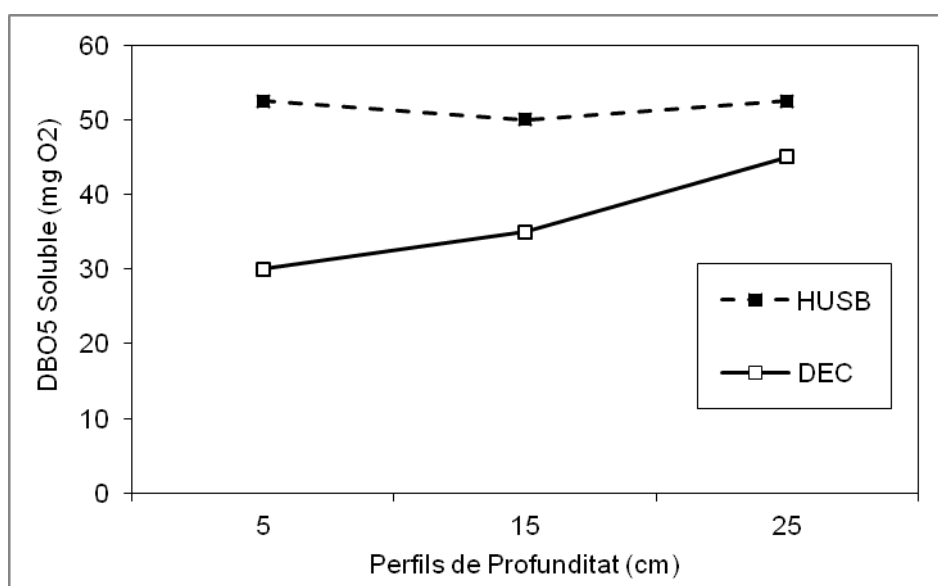


Figura 29. Valors de DBO (en mg O_2 equivalent/L) soluble a la planta pilot de tractament d'aigua residual. Aiguamolls amb HUSB. I Decantadors (DEC).

6.2. PERFILS REDOX

En aquesta secció veurem els resultats extrets de la mesura redox dels llits dels aiguamolls que s'han dut a terme en el període del 7 de maig al 19 de setembre del 2012. Realitzant tres campanyes a cada aiguamoll per recollir dades.

Als perfils redox, veurem la influència de la profunditat del llit de l'aiguamoll i diferenciacions entre el tractament primari procedent d'aigua residual.

6.2.1. Primera campanya

La recollida de dades referents al redox de la primera campanya comprèn el període entre el 7 de maig i el 6 de juny.

6.2.1.1. TRACTAMENTS PRIMARIS

Durant la primera campanya, si comparem les dades d'influència entre els tractaments primaris entre les profunditats 5 i 25 cm no s'han observat grans diferències, que fluctuen entre 200 i 0 mV als procedents del HUSB i entre 200 i 100 mV dels decantadors.

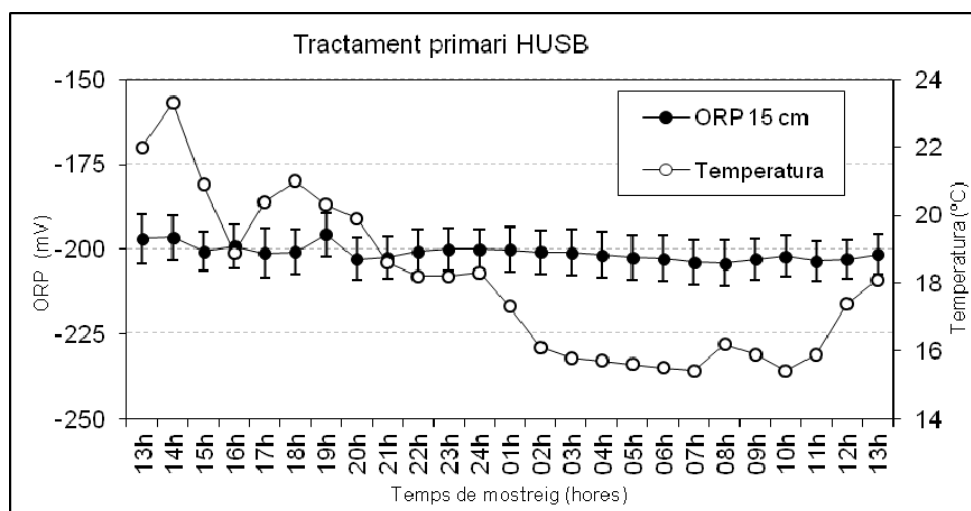


Figura 30. Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll AC2.

A la Figura 30 es mostra l' E_H obtingut durant la primera campanya de mostreig a l'aiguamoll procedent del HUSB durant un període de 24 hores. On les fluctuacions són mínimes al llarg del dia. Amb petites diferències entre dia i la nit durant aquestes 24 hores, amb una mitjana diària de -200 mV. En hores de llum, tenim a les profunditats de 5 i 15 cm amb 221 mV i -41 mV respectivament.

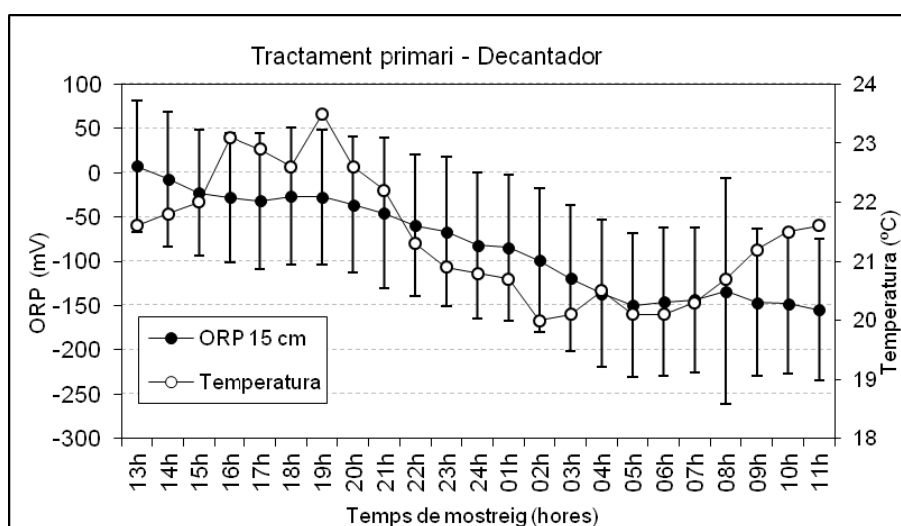


Figura 31. Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll CP1.

Si ens fixem amb la figura 31, sent les dades mesurades d' E_H obtingudes durant 24 hores procedent del tractament primari dels Decantadors, veient que hi ha fluctuacions entre 0 i -150

mV. El E_H a 15 cm de fondària durant la nit varia entre -50 mV i -150 mV i durant el dia entre 0 i -73 mV.

6.2.1.2. Profunditat

Ara mostrarem l' E_H obtinguts a les profunditats de 5, 15 i 25 cm del llit de tractaments. Hem de remarcar que els valors de 25 cm que mostrem a continuació degut a les elevades evapotranspiracions de l'entrada d'aigua neta al aiguamoll, provocant la modificació dels potencials redox i per tant, no podem avaluar aquestes dades per un error experimental.

A la figura 32 podem veure la variació diària del potencial redox a l'aiguamoll AC2 amb tractament primari del HUSB. L' E_H difereix molt d'una profunditat a l'altra. A la profunditat de 5 cm l' E_H pràcticament no té fluctuacions dels valors de 200 mV i per tant el seu gradient redox és molt baix. Pels valors d' E_H de profunditat de 15 cm també es manté un gradient redox baix, on el valors estan molt pròxims al -200 mV.

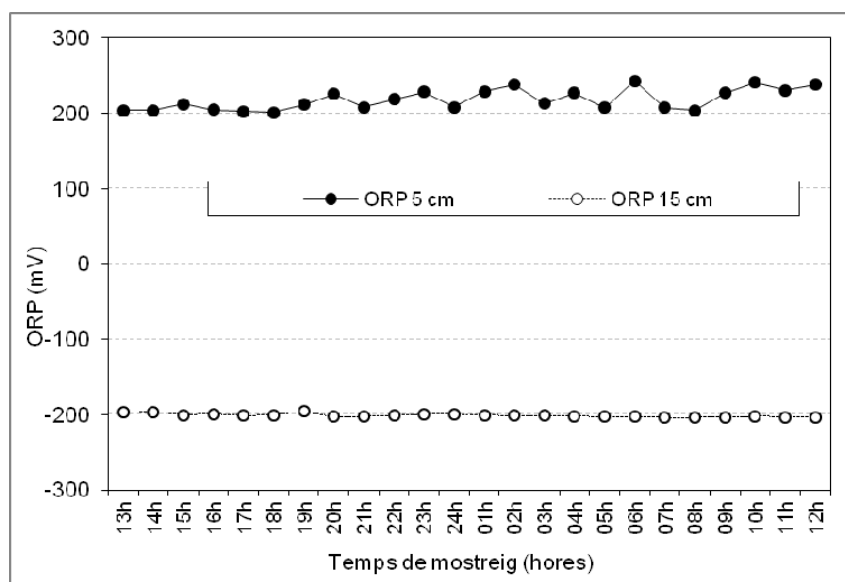


Figura 32. Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll AC2.

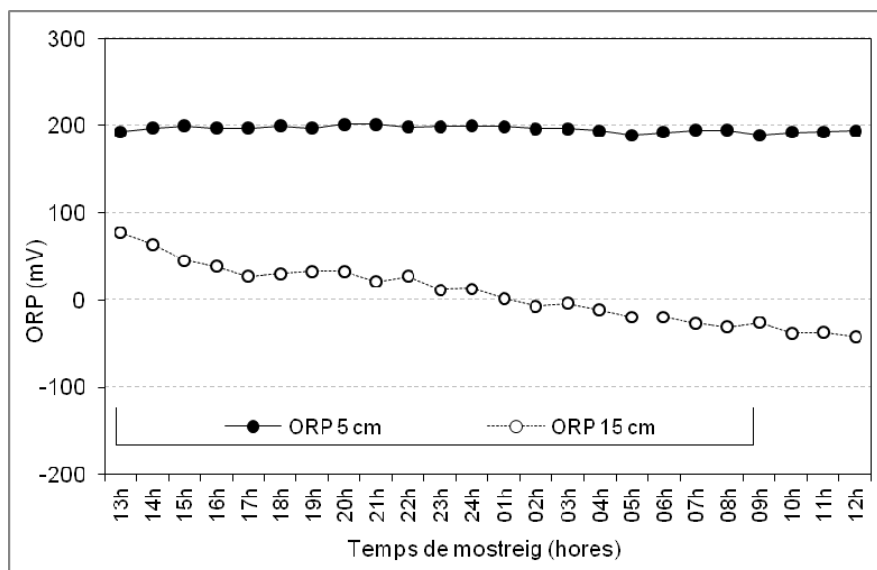


Figura 33. Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll CP2.

A la figura 33, veiem ara la variació temporal dels potencial redox dels aiguamolls CP2, provinents del tractament primari dels decantadors. L' E_H de les profunditats 5 cm no mostra una variació en aquest espai de temps i té uns valors de 200mV. Els valor E_H per les dades de 15 cm de profunditat fluctuen durant el temps d'estudi, amb un potencial redox de 122 mV..

6.2.2. Segona campanya

La segona campanya de recollida de dades esta compresa entre el 7 de juny i el 19 de juliol de 2012.

6.2.2.1. TRACTAMENTS PRIMARIS

En aquesta segona campanya d'estudi als aiguamolls del HUSB no es poden apreciar canvis en les profunditats de 5 cm i 25 cm on els valor de E_H és oscil·lant entre 100 mV i 200mV. A 15 cm de profunditat, on arribem a tenir un gradient redox de 300 mV, com podem observar a la figura 33.

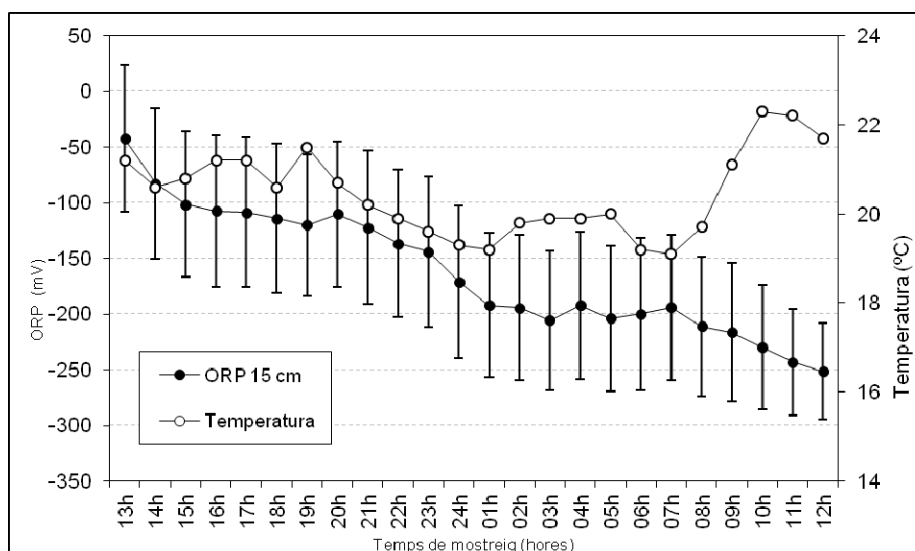


Figura 34. Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll AC2.

Els valor d' E_H dels aiguamolls procedents dels Decantadors, presenten la mateixa dinàmica que els anteriors, on a profunditat de 5 cm prenen valor de 200 mV. Per la profunditat de 25 cm al aiguamoll CP1 oscil·lacions E_H a la nit amb un gradient redox de 25 mV i 35mV al dia. I podem apreciar que a l'aiguamoll CP2 té un gradient redox acumulat a la profunditat de 25 cm de 200 mV.

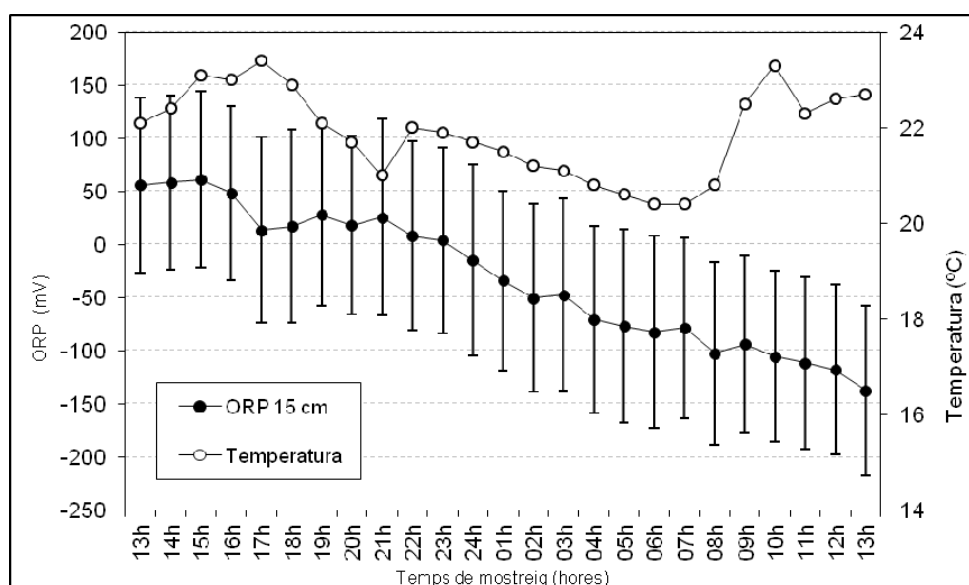


Figura 35. Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll CP1.

Podem apreciar a la figura 35 que pels valors de E_H de 15 cm a l'aiguamoll CP1 té un gradient redox de 175 mV, mentre que als aiguamolls de CP2 els valor fluctuen al voltant de 100 mV amb un gradient redox nul.

6.2.2.2. Profunditat

Mostrem els valor d' E_H obtinguts a les profunditats de 5, 15 i 25 cm de llit de tractament. Ara mostrarem el E_H obtinguts a les profunditats de 5, 15 i 25 cm del llit de tractaments. Hem de remarcar que els valors de 25 cm que mostrem a continuació degut a les elevades evapotranspiracions de l'entrada d'aigua neta al aiguamoll, provocant la modificació dels potencials redox i per tant, no podem avaluar aquestes dades per un error experimental.

A la figura 36 podem veure la variació diària del potencial redox a l'aiguamoll AC2 procedent del HUSB. Veiem com a la profunditat de 5 cm les fluctuacions ronden els valors de 200 mV. A la profunditat de 15 cm redox podem apreciar que assolim un gradient redox de 300 mV en total durant els 24h d'estudi.

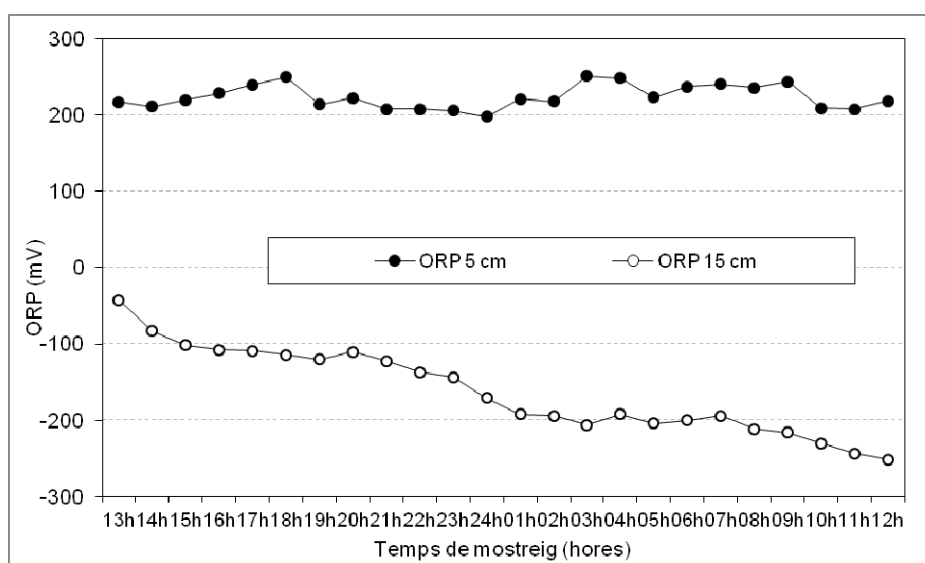


Figura 36. Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll AC2.

Ala figura 37 veiem els valors E_H obtinguts pels aiguamolls CP1 procedents dels decantadors. Com hem vist, els valors de 5 cm de profunditat són molts semblants als anteriors mostrats al HUSB.

Els valors d' E_H per la profunditat de 15 cm mostren un gradient redox de 175 mV amb variacions entre 58 i -117 mV.

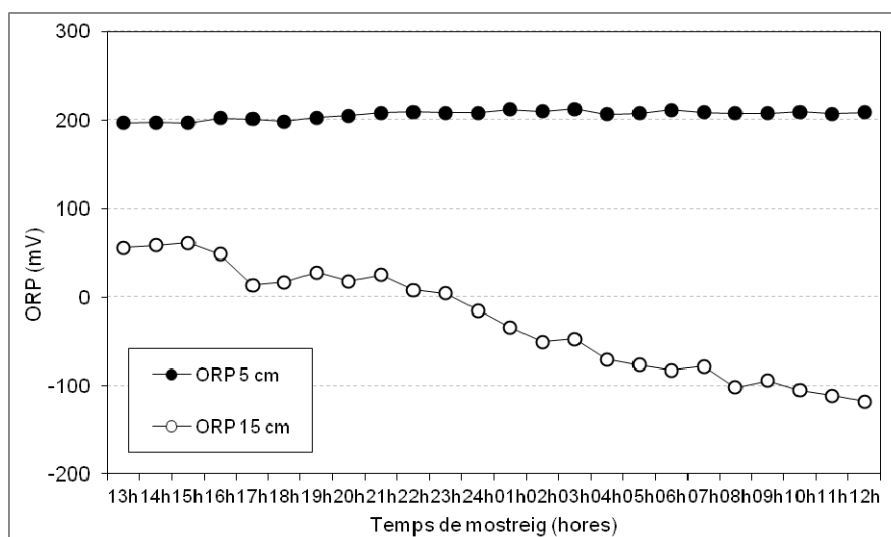


Figura 37. Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll CP1.

6.2.3. Tercera campanya

Aquesta tercera campanya de recollida de les dades de redox han sigut realitzada durant el període del 9 al 18 de setembre del 2012.

6.2.3.1. TRACTAMENTS PRIMARIS

En els valors E_H que podem veure a la figura 38 per l'aiguamoll AC1 observem que per fondària de 15 cm els valors oscil·len al voltant dels 300 mV, i amb poques variacions; això ens deixa un gradient redox casi nul. Els valor de E_H per la profunditat de 5 cm mostra un gradient redox de 90 mV amb valor pròxims entre els 200 mV i el 100 mV. Aquests valor son molt semblants per 25 cm, amb un gradient una mica superior de 112 mV.

Als aiguamoll AC2 per les profunditats 5 cm i 25 cm mostra valor semblants amb un gradient redox casi nul, amb valor de 200 mV. Per 15 cm de profunditat es repeteix la mateix situacions però amb valors pròxims a -300 mV

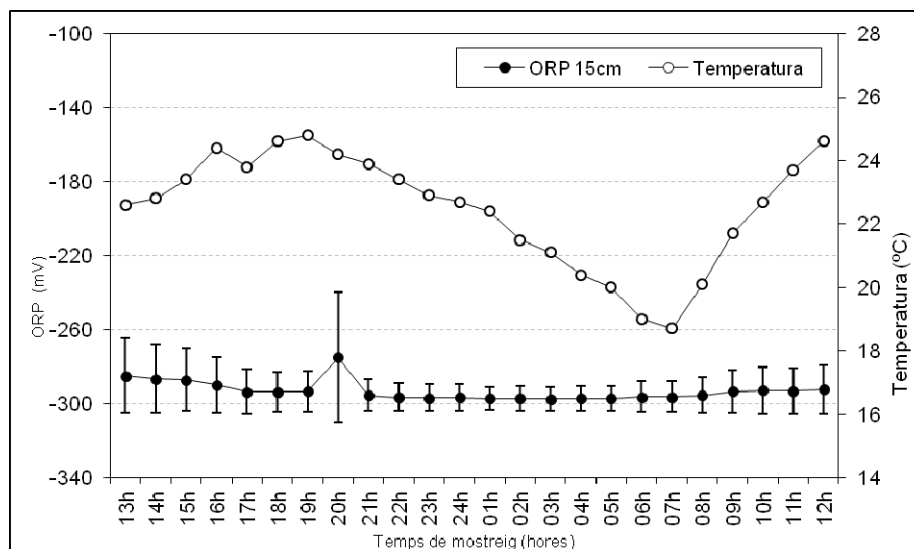


Figura 38. Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll AC1.

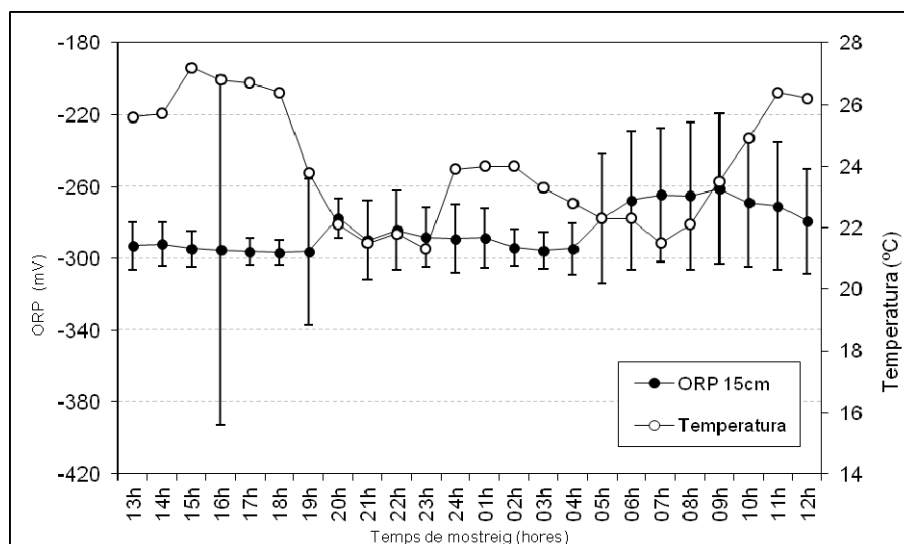


Figura 39. Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll CP1.

Pels aiguamolls alimentats amb els decantadors, podem observar a la figura 38, que valor de 15 cm de profunditat mostren petites variacions entre el cicle de matí i tarda, però amb gradient redox molt petit. Per les profunditats de 5 cm i 25 cm els valors d' E_H són pràcticament iguals amb valors de 200 mV.

6.2.3.2. Profunditat

Mostrem els valor d' E_H obtingudes a les profunditats de 5, 15 i 25 cm de llit de tractament. Ara mostrarem el E_H obtinguts a les profunditats de 5, 15 i 25 cm del llit de tractaments. Hem de remarcar que els valors de 25 cm que mostrem a continuació degut a les elevades evapotranspiracions de l'entrada d'aigua neta al aiguamoll, provocant la modificació dels potencials redox i per tant, no podem avaluar aquestes dades per un error experimental.

A la figura 40 veiem els valors dels perfils redox obtinguts pels aiguamolls tractats amb el HUSB. Observem que els valors per 5 cm de profunditat son molt semblats al 200 mV. Per valor de profunditat de 15 cm les oscil·lacions son nul·les, i prenen valor de -300 mV.

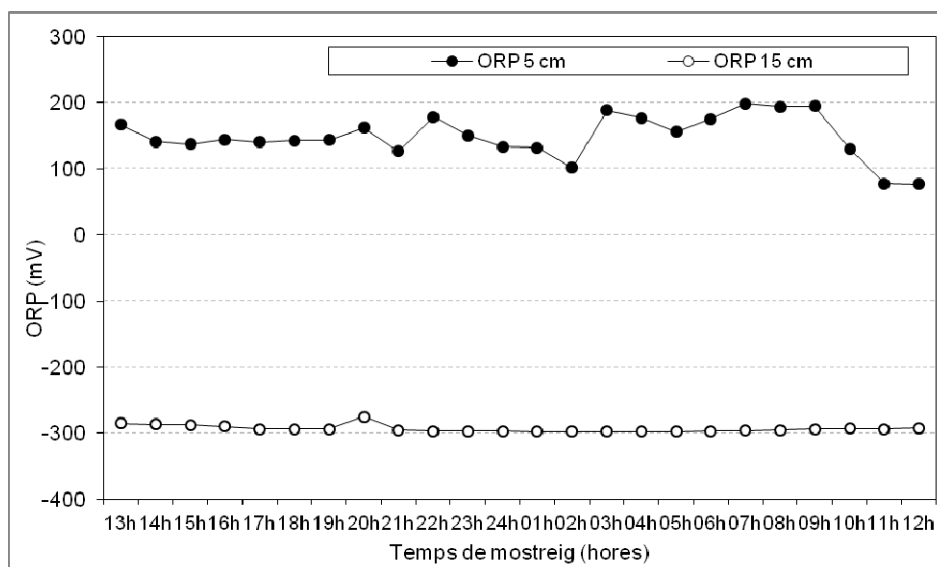


Figura 40. Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll AC1.

Si observem ara la Figura 41 veurem les dades perfils redox obtinguts pels aiguamolls amb el tractament primari procedent dels decantadors.

Veiem com per la profunditat de 5 cm els valor de E_H son molt semblat, amb valor pròxims als 200 mV i 100 mV. A 15 cm de profunditat els valor de E_H son molt semblats els mostrats pels aiguamolls AC1, amb gradient redox casi nul amb valor aproximats als -300 mV.

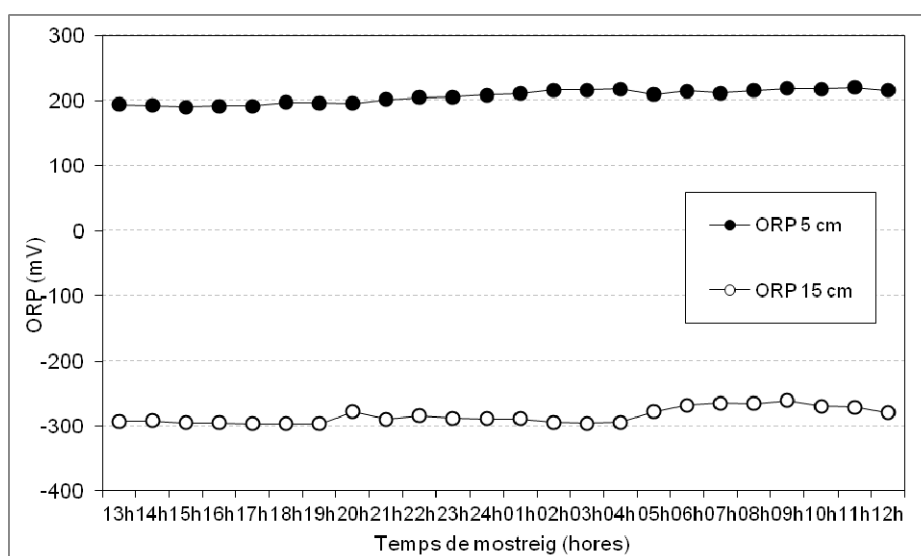


Figura 41. Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari. Aiguamoll CP1.

7. DISCUSSIÓ

7.1. Anàlisis Físicoquímic

En aquest apartat es tracta l'avaluació de la demanada química d'oxigen total, la demanda biològica i l'amoni als resultats mostrats a l'anterior capítol.

7.1.1. Avaluació DQO

És d'esperar que a mesura que l'aigua avança pels aiguamolls la DQO disminueixi. En aquest estudi s'ha determinat la DQO a l'entrada i a la sortida del tractament secundari.

A l'apartat 6.2.1, es mostra una disminució DQO_T al llarg de tots dels aiguamolls, ja sigui amb un tractament primari alimentat amb decantadors o amb HUSB. Si bé la disminució es plausible amb els dos casos, no ho es d'igual manera en conceptes de rendiment. Aquest resultat ens podria donar indicis que, en condicions de potencial redox més baix obtenim una eliminació de la matèria orgànica menys eficient.

La planta pilot de tractament d'aigua residual alimentada pels decantadors és més eficient en l'eliminació de substàncies contaminants orgàniques mesurades com a DQO total, del voltant del 64 %. Mentre que el sistema alimentat pels HUSB tenim eficiències del 41 %.

La directiva 98/15/CE que modifica la directiva 91/271/CEE sobre el tractament de les aigües residuals urbanes demana uns requisits pels abocaments procedents d'instal·lacions de tractament d'aigües residuals urbanes. Referents a la DQO aplica un valor de concentració de 125 mg/l O_2 i un percentatge de reducció mínim del 75% d'una mostra homogeneïtzada sense filtrar ni decantar. Si durant el nostre període d'estudi tenim concentracions a la sortida del nostre tractament secundari s'han determinat concentracions entre 80 i 100 mg/l O_2 aproximadament, però amb percentatges de reducció al voltant del 68% en els millors casos.

7.1.2. Avaluació amoni

Dels diferents mecanismes d'eliminació d'amoni, el que afecta més a les seves vies de degradació és la nitrificació, explicada anteriorment a l'apartat 3.5.3. Per tal que aquest procés succeeixi és necessària la presència d'oxigen dissolt a l'aigua.

A l'apartat 6.2.2 s'observa que el sistema de tractament amb sistema primari alimentat per decantadors o amb HUSB té un alt rendiment d'eliminació.

S'observa un millor rendiment en eliminació d'amoni al tractament secundari alimentat amb decantadors amb valors del 98 % mentre que els aiguamolls alimentats amb el HUSB ronden els valors del 97%. Al ser aiguamolls amb presència de *Canyís*, podem afirmar que els rizomes i arrels del *Canyís* al llit de tractament aporten l'oxigen necessari perquè les bacteries nitrificants

(*Nitrosomones* i *Nitrobàcter*, principalment) oxidin l'amoni a nitrats i nitrits reduint així la seva concentració. Posteriorment amb la desnitrificació aquests nitrats i nitrits, són convertits a nitrogen gas i alliberats a l'atmosfera.

7.1.3. Avaluació DBO

A l'apartat 6.2.3 veiem l'estudi de la demanada biològica d'oxigen soluble s'hi explica com el sistema alimentat pel HUSB es superior al sistema alimentat per decantadors.

Degut que el HUSB es un tractament anaeròbic, això ens provoca un augment de la DQO soluble degut a la hidròlisi de la matèria orgànica i això juntament amb el potencial redox més baix, ens dona que la quantitat de matèria orgànica sigui més alta que el sistema alimentat amb el decantador.

7.2. Perfils Redox

En aquesta secció tractarem quins efectes tenen sobre el potencial redox els sistemes primaris de procedència de l'aigua residual, i la profunditat del llit de tractament.

7.2.1. Comportament global del potencial redox

El potencial redox (E_H) disminueix a mesura que augmenta la profunditat. Tal com s'explica a la revisió bibliogràfica, el E_H està molt lligat a les concentracions d'oxigen presents a l'aigua i el tipus de reaccions, aeròbies o anaeròbies, que s'hi succeeixen. A major profunditat menor és la concentració d'oxigen i les reaccions anaeròbies disminueixen el redox. Aquest gradient està influenciat almenys per tres factors: les condicions hidrodinàmiques, la natura i concentració dels acceptors d'electrons, i el mecanisme de transport d'oxigen als rizomes de les plantes. La difusió d'oxigen des de l'atmosfera manté condicions aeròbies i té un gruix que va des de pocs mil·límetres fins a dos centímetres (Reddy i D'Angelo, 1997).

El potencial redox fluctua entre 200 i -300 mV. El E_H augmenta o disminueix en centenars de mil·livolts en terminis molt curts, qüestió d'hores. Tal com es mostra a les figures referents a la profunditat 31,32,35,36,39 i 40, a una fondària de 15 cm el E_H fluctua fortament durant els mesos de Juny, per contra durant els mesos de setembre aquestes fluctuacions són més suaus en el temps. Aquesta diferència es deguda per factors climàtics i factors de creixement de les plantes presents als aiguamolls.

7.2.2. Efecte dels tractaments primaris

El potencial redox (E_H) es veu afectat segons l'alimentació que arriba als aiguamolls. Als mesos de juny, els aiguamolls alimentats amb el HUSB tenen més gradient redox que els alimentats amb els decantadors. Aquesta diferència és menys visible als mesos de setembre. Efecte de la profunditat sobre el potencial redox

Determinar el potencial redox a tres profunditats diferents permet observar què succeeix al llarg de la columna d'aigua de l'aiguamoll. Diferenciar la zona aeròbia, amb un E_H elevat i on l'oxigen és el principal acceptor d'electrons, de la zona anaeròbia, amb un E_H baix amb absència d'oxigen i on els principals acceptors d'electrons són altres espècies químiques es fa referència a l'apartat 3.6.2

La mesura de l' E_H a la profunditat de 5 cm determina la zona aeròbia al voltant dels 200 mV, i la mesura del E_H a la profunditat de 15 cm determina la zona intermèdia sensible a variacions de les condicions de l'aiguamoll el que aconseguint en certes ocasions gradients de fins a 400 mV. Tal com es fa referència al apartat 6.3, les lectures d' E_H al 25 cm de profunditat, son massa altes, degut a l'entrada d'aigua neta al aiguamoll, modificant els perfils redox.

L'oxigen queda limitat a la capa superficial, entre 0 i 5 cm de profunditat. A 15 cm de profunditat, segon punt de mostreig, l' E_H és molt negatiu i per tant ja no hi ha suficient presència d'oxigen per què s'hi desenvolupin les reaccions aeròbies.

Tot i que la mesura del potencial redox ha estat utilitzada per a caracteritzar les condicions del sòl d'un aiguamoll des de fa bastants anys (Ponnamperuma,1972), la seva interpretació s'associa a una gran incertesa en el sentit exacte de la ciència química. En general, el E_H mesurat al llit de tractament dels aiguamolls és el resultat de la situació actual del diferents sistemes electroquímics que hi succeeixen i poden, o no, estar en equilibri químic. La determinació de la química exacta de tots els sistemes electroquímics no és possible únicament sobre la base del potencial redox.

En molts sòls d'aiguamolls reduïts, la lectura redox en general s'estabilitza amb força rapidesa, però aquesta estabilització no és un equilibri real del conjunt del sistema de l'aiguamoll. Aquets són sistemes molt dinàmics a causa de les transformacions bioquímiques i un valor estabilitzat del potencial redox és un instant de la situació actual.

8. CONCLUSIONS I RECOMANACIONS

8.1. Conclusions de Sanejament

Els rendiments d'eliminació de la DQO_T oscil·len entre el 40 i el 65 %. Les millors eficiències es donen en aiguamolls alimentats amb els decantadors.

Els aiguamolls tant alimentats amb HUSB com amb decantadors presenten uns rendiments de reducció d'amoni molt elevats, al voltant del 100% eliminant gairebé l'amoni present a l'aigua residual entrant al sistema.

La sortida dels aiguamolls alimentats amb el HUSB presenten uns valors de DBO superior als aiguamolls alimentats amb decantadors, amb un valor d'increment del 43 %.

Els valors de sortida dels contaminants analitzats, DQO, amoni i anions, obtinguts en aquest estudi permeten complir la Directiva 98/15/CE sobre abocaments d'instal·lacions de tractament d'aigües residuals urbanes. En alguns casos els rendiments són menors als citats a la legislació, però la concentració de sortida sempre és menor al exigít.

8.2. Conclusions del Potencial Redox

El potencial redox disminueix a mesura que augmenta la profunditat. Als llits granulars poden diferenciar dues zones; una zona aeròbica amb un E_H al voltant dels 200 mV, i una zona intermèdia amb un E_H variant entre 200 i -300 mV. Els gradients redox entre la superfície (5 cm) i la zona intermèdia de l'aiguamoll poden arribar a valor de 400 mV.

Els sistemes d'aiguamolls alimentats amb HUSB són sistemes més reduïts amb valors de -162.30 mV, el que provoca més gradient redox que els aiguamolls alimentats amb decantadors on tenim valors de -47.49 mV.

La màxima variabilitat del E_H es dona a 15 cm de fondària a la columna de l'aiguamoll. On es poden trobar gradients redox fins a 400 mV.

El potencial redox E_H a 25 cm es veu afectat per la entrada de aigua neta al sistema repercutint amb els seus valors redox.

8.3. Recomanacions

Seguiment d'altres paràmetres en continu al mateix temps que es fan els mostreigs com pH o oxigen dissolt i ajustar més el comportament redox del aiguamoll.

Realització d'un estudi de traçador i saber el temps de permanència de l'aigua residual, ja que no es va fer per falta de planificació i temps.

Ajustar l'evapotranspiració dels aiguamolls, millorant el sistema d'entrada d'aigua neta i poder calcular l'entrada i sortida d'aigua en els mesos de més calor.

8.4. Estudi implementació de piles de combustibles

El sistema d'aiguamolls construïts de flux subsuperficial s'ha implementat dins del marc del projecte "Aplicación de Pilas Microbianas en Humedales construidas para la optimización de la eficiencia de tratamiento, generación de electricidad y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero". En aquest capítol és pretén anar més enllà i ampliar la informació sobre la generació d'electricitat a partir de piles microbianes.

Per fer d'una pila de combustible microbiana de sediment (SMFC) com a mètode útil per generar energia, és essencial optimitzar el sistema de producció d'energia. L'energia es calcula a partir d'una tensió (E) i una intensitat del corrent (I). La potència de sortida en una MFC es calcula a partir de la mesura de tensió, E_{MFC} , a través de la càrrega i la intensitat del corrent com:

$$P = I \cdot E_{MFC} \quad (8-1)$$

La intensitat del corrent produït en una MFC a escala de laboratori es calcula mesurant el potencial a través de càrrega (és a dir, la resistència externa, R_{ext}). Per tant podem calcular la producció d'energia com:

$$P = \frac{E_{MFC}^2}{R_{ext}} \quad (8-2)$$

L'arquitectura específica del sistema limita la potència generada i per tant, l'anterior fórmula no és suficient per descriure l'eficiència real en una MFC. Per exemple, la quantitat d'àrea superficial de l'ànode pot influir al creixement dels microorganismes i afectar a la quantitat d'energia. Per això, és comú normalitzar la producció d'energia per a la superfície anòdica, A_{An} , de manera que la potència produïda en una MFC és:

$$P_{An} = \frac{E_{MFC}^2}{A_{An} \cdot R_{ext}} \quad (8-3)$$

Molts són els factors que poden influir en la generació d'energia en una pila de combustible microbiana, àrea superficial catòdica, resistència interna, el volum del reactor, membrana, etc., però en base a la potència de sortida normalitzada per a l'àrea superficial anòdica ja s'ajusta a la realitat i s'obté un valor de potència que ens permetrà predir d'una manera aproximada la generació d'energia per a cada aiguamoll.

Tot i així, l'àrea anòdica no sempre afecta a la generació de potència. En sistemes on l'àrea superficial anòdica és molt alta en relació a l'àrea superficial catòdica, és útil normalitzar la producció de potència en base a la l'àrea superficial del càtode, A_{cat} (Cheng, 2006).

8.5. ÀNODE

Els requisits d'un material per l'ànode són: alta conductivitat, no corrosiu, elevada àrea superficial específica, elevada porositat i barat. D'aquestes propietats, la més important i diferent dels reactors de biofilm, és que el material sigui conductor de l'electricitat. Els electrons produïts per les bactèries necessitaran fluir des del punt de generació a la superfície del material fins al punt de recollida. Per tant, es necessita trobar un material que sigui altament conductor de l'electricitat, però que també cal que no sigui corrosiu, motiu que deixa fora molts metalls. A més, les bactèries han de ser capaces de connectar amb el material i aconseguir unes bones connexions elèctriques.

Les varetes de grafit s'han utilitzat en diversos estudis de MFC, ja que presenten una alta conductivitat i tenen les àrees superfícials relativament definides (porositat interna baixa), i han estat àmpliament utilitzades en estudis electroquímics. Una vareta de grafit és bastant conductora ($0.2 \Omega/\text{cm}$) i pot ser adquirida en una gran varietat de gruixos. Per aquests motius, s'ha escollit com a material anòdic per el projecte comentat.

8.6. POTÈNCIA TEÒRICA

En aquest apartat s'exposa el càlcul de la potencia teòrica obtinguda en un aiguamoll de la planta pilot de tractament d'aigües residuals, així com una taula amb els resultats determinats per a la resta d'aiguamolls construïts del sistema.

8.6.1. Característiques i consideracions prèvies

Aiguamoll

Els càlculs que es mostren tot seguit es basen amb el gradient redox mitjà obtingut q totes les campanyes entre els mesos de juny i setembre entre el aiguamolls alimentats amb el HUSB i amb els decantadors.

Ànode

L'ànode de la pila de combustible microbiana el constitueix una malla metàl·lica que a l'interior conté petites peces cilíndriques de grafit d'uns 5 cm^2 cada una aproximadament.

A cada ànode hi ha 30 peces de grafit i per tant, l'àrea superficial anòdica és de 150 cm^2 .

Resistència externa

És complex determinar la resistència externa del sistema, ja que en depenen diferents factors. Schamphelaire (2008), treballava amb una resistència externa variable entre 75 i 500 Ω en el seu experiment per generar electricitat amb piles microbianes a partir de plantes d'arròs.

En aquest cas, que tan sols es pretén obtenir de manera intuïtiva la potència teòrica que es pot obtenir als sistemes de tractament secundari, la resistència externa es considera igual per a tots els aiguamolls construïts.

Es decideix treballar amb una resistència de 100 Ω , per iniciar l'experiment.

Tensió o força electromotriu

La potència obtinguda en aquests càlculs representa la potència teòrica que es pot aconseguir en base al gradient redox mitjà per a cada aiguamoll construït.

Camp	Paràmetre	Valor	Unitat
Ànode cilíndric	Material	70.50	cm
	Àrea	55.25	cm
	Conductivitat	39	cm
Gradient Redox	Grava	35	cm
	Aigua	30	cm
Volums	Aiguamolls	0.15	m ³
	Grava	0.14	m ³
	Aigua	0.05	m ³
Porositat	Grava	0.4	
Cabal tractat	Aigua	21	L/dia

Taula 8.1. Característiques i dades per determinar la potència màxima teòrica

8.6.2. Càlcul i resultat

A partir de les següents dades i la equació (8-2) mostrada anteriorment s'obté el valor de la potència teòrica màxima:

Àrea superficial anòdica: 150 cm².

Gradient redox de l'aiguamoll CP1 entre 5 i 15 cm de profunditat: 276 mV.

Resistència externa: 100 Ω .

$$P_{An} = \frac{E_{MFC}^2}{A_{An} \cdot R_{ext}} = \frac{0.276^2 \text{ V}}{0.015 \text{ m}^2 \cdot 100 \Omega} = 51 \text{ mW/m}^2 A_{An} \quad (8-4)$$

En aquest cas, que no es tenen en compte les pèrdues per resistències internes o per connexions, el resultat obtingut és semblant al del treball de Schamphelaire (2008). L'estudi de Schamphelaire obtenia una potència al voltant dels $33 \text{ mW/m}^2 A_{AN}$, un valor comprès entre l'interval de potències teòriques determinades segons aiguamoll, entre 160 i 30 mW/m^2 de superfície anòdica.

A la taula 8.2 es mostra la potència teòrica obtinguda entre les fondària de 5 i 15 cm. Entre aquestes profunditats en general el gradient redox és elevat i les pèrdues per resistència interna menors. Tot i que, el càlcul aquestes pèrdues no es consideren, determinar la potència entre aquestes fondàries s'ajusta més a la realitat.

AIGUAMOLLS	JUNY	SETEMBRE	JUNY	SETEMBRE	JUNY	SETEMBRE
	mV		$\text{W/m}^2 A_{AN}$		$\text{mW/m}^2 A_{AN}$	
DECANTADOR	242	389	0.039	0.161	39	101
HUSB	411	442	0.113	0.130	113	130

Taula 8.2. Gradient redox mitjà i potència teòrica del aiguamolls del sistema.

Amb els resultats de la taula 8.2, recomanaria un estudi, col·locació i seguiment d'una pila microbiana de combustible a l'aiguamoll amb un sistema alimentat amb HUSB. Tal com podem veure a la taula 8.2, amb els aiguamolls alimentats amb el HUSB tenim un potencial constant amb comparació amb el sistema alimentat amb decantadors. En aquest aiguamoll construït s'obté el gradient mitjà més elevat, durant els mesos d'estudi realitzats, amb una potència teòrica més gran, fins a 130 W/m^2 de superfície anòdica.

Finalment, a la figura 41 es mostra les densitats i les potències obtingudes en experiments amb piles de combustible microbianes realitzats per altres autors, indicant les característiques d'operació en cada cas.

Operating characteristics of the SMFC ^b	Power density (mW m ⁻² EFA)	Power density (mW m ⁻² ES)	Current density (mA m ⁻² EFA)	Current density (mA m ⁻² ES)	Reference
• Marine sediment in laboratory	10				Reimers <i>et al.</i> (2001)
• Platinum mesh or carbon fibres					
• Marine environments	28	9	104	35	Tender <i>et al.</i> (2002); Ryckelynck <i>et al.</i> (2005)
• Estuarine (constant voltage)					
• Salt marsh (constant current)	26	9	100	34	
• Graphite disk with holes		16			Bond <i>et al.</i> (2002)
• Marine sediment in laboratory					
• Graphite disk				20	Holmes <i>et al.</i> (2004b)
• Laboratory incubations					
• Marine					
• Salt marsh				7	
• Freshwater					
• Graphite disk				9	
• Coastal site					
• Graphite disk with AQDS	98	47	560	266	Lowy <i>et al.</i> (2006)
• with Mn ²⁺ and Ni ²⁺	105	47	350	158	
(maximum non-sustainable results ^a)					
• Ocean cold seep	1100	34	2647	82	Reimers <i>et al.</i> (2006)
• Vertical graphite rod					
• Estuarine environment	233	0.18	466	0.35	Nielsen <i>et al.</i> (2007)
• Forced advection					
• Natural advection	140	0.71	350	1.77	
• Carbon brush	51	8	184	31	Rezaei <i>et al.</i> (2007)
• Laboratory seawater incubation					
• Pillow-shaped carbon cloth filled with Chitin 80	25	12.5	5	2.5	He <i>et al.</i> (2007)
• Laboratory incubation of river sediment amended with sucrose solution and a rotating cathode					
• Carbon cloth	33	16	55	26	De Schampelaire <i>et al.</i> (2008)
• Freshwater matrix planted with rice plants					
• Graphite felt	3	1.5	15	7	Kaku <i>et al.</i> (2008)
• Freshwater rice paddy field					
• Graphite felt	387	16	1105	46	Tender <i>et al.</i> (2008)
• Field deployment in salt marsh, powering a meteorological buoy					
• Array of vertical graphite plates					

a. All results represent average or sustainable values, except for the Lowy and colleagues (2006) reference, in which maximum non-sustainable values are given.

b. The operating characteristics of the SMFC respectively mention: type of sediment or set-up and the type of anode electrode.

ES, (anodic) electrode surface; AQDS, anthraquinone-1,6-disulfonic acid.

Figura 42. Resum de les potències i densitats resultants fins ara en piles de combustible microbianes. (Schampelaire, 2008).

9. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

APHA-AWWA-WPCF (1995). *Standard Methods for the Examination of Water&Wastewater*. 19th edition. American Public Health Association. Washinton, D.C.

Arias, C.A. (1998). *Humedales Construidos de Flujo Subsuperficial: Una alternativa para el Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeños Núcleos de Población*. Tesina de Especialidad. Departamento de EHMA. ETSECCPB. UPC. 102 pp.

Bond, D.R., Holmes, D.E., tender, L.M., i Lovely, D.R., (2002). *Electrode-reducing microorganisms that harvest energy from marine sediments*. Science 295 (5554), 483-485.

Characklis, W.G. i Marshall K.C. (1990). *Biofilms*. Wiley-Interscience Publ., Jhon Wiley & sons, Inc., New York.

Cheng, S., Liu, H., i Logan, B.E. (2006). *Increased power generation in a continuous flow MFC with advective flow through the porous anode and reduced electrode spacing*. Environ. Sci. Technol. 40, 2426-2432.

Chico, F. (2002). *Vías de degradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial*. Tesina de especialidad ETSECCPB. UPC.

Dusek, J., Picek, T., i Cizkova, H. (2008). *Redox potentials dynamics in a horizontal subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment: Diel, seasonal and spatial fluctuations*. Ecological engineering 34, 223-232.

Fiedler, S., i Sommer, M. (2004). *Water and redox conditions in wetland soils. Their influence on pedogenic oxides and morphology*. Soil Science Society of America Journal 68: 326-335.

Flessa, H. (1994). *Plant-induced changes in the redox potencial of the rhizospheres of the submerged vascular macrophytes *Myriophyllum verticillatum* L. And *Ranunculus circinatus* L.* Aquat. Bot. 47,119-119.

García, J., Morató, J., i Bayona, J.M. (2004). *Nuevos Criterios para el Diseño y Operación de Humedales Construidos*. CEPT – Centro de Publicaciones del Campus Nord, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

García, J., Corzo, A. (2008). *Depuración con humedalesconstruidos: Guía pràctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial*. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politècnica de Catalunya. 108 pp.

García, J., Ojeda, E., Sales, E., Chico, F., Píriz, T., Aguirre, P., Mujeriego, R. (2003). *Spatial variations of temperature, redox potencial, and contaminations in horitzontal flow reed beds*. Ecol. Eng. 21, 129-142.

García, J., Vivar J., Aromir M., i Mujeriego R. (2005). *Role of hydraulic retention time and granular medium in microbial removal of indicator in tertiary treatment reed beds*. Wat. Res., 37, 2645-2653.

Haberman, W., Pommer, E. (1991). *Biological fuel cells with sulphide storage capacity*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 35: 128-133.

Holmes, D.E., Bond, D.R., O'Neil, R.A., Reimers, C.E., Tender, L.R., i Lovely, D.R. (2005). *Microbial communities associated with electrodes harvesting electricity from a variety of aquatic sediments*. Microb. Ecol. 48(2), 178-190.

Jetten, M., Logemann, S., Muyzer, G.M., Robertson, L.A., de Vries S., van Loosdrecht, M.C.M., Kuenen, J.G. (1997) *Novel principles in the microbial conversion of nitrogen compounds*. Antonie van Leeuwenhoek 71: 75-93.

Kadlec, R.H., Knight, R.L.. (1996). *Treatment Wetlands* .Ed. CRCPress, Florida, 893 pp.

Kadlec, R.H., Knight, R.L., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P. i Haberl, R. (2000). *Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation IWA Specialist group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control*. IWA Publishing, 155 pp.

Kadlec, R.H., Tanner, C.C., Hally, V.M i Gibbs, M.M. (2005). *Nitrogen spiraling in subsurface-flow constructed wetlands: Implications for treatment response*. Ecol. Eng. 25, 365-38.

Kadlec R.H., Wallace, S.D. (2009). *Treatment Wetlands*. 2nd ed. CRC Press, New York, 1016 pp.

Koroleff, F. (1983). *Determination of ammonia* .Methods of Seawater Analysis, 2nd Ed. 150-157 pp.

Laanbroek H.J. (1990). *Bacterial cycling of minerals that affect plant growth in waterlogged soils: a review*. Aquatic Botany 38: 105-125.

Logan, B.E. (2008). *Microbial Fuel Cells*. Wiley-Interscience Publ., John Wiley & Sons, Inc. Pennsylvania, 200 pp.

Mander, Ü., Tieter, S., Lohmus, K., Mäuring, T., Nurik, K., Augustin, J. (2003). *Emission rates of N₂O, N₂, and CH₄ in riparian alder forest and subsurface flow constructed wetland*. In: Wetlands – Nutrients, Metals and Mass Cycling. Backhuys Publisher. Netherland. pp. 259-280.

Minnaard, C. (2005). *Los Gráficos de Caja: Un recurso innovador*. Revista Iberoamericana de Educación. 35-8.

Mujeriego, R., García, J., Gullón, M. (2000). *Manual de Prácticas de laboratorio de Aguas Residuales*. Departamento de EHMA. ETSECCPB. UPC.

Píriz, A.J. (2000). *Condiciones de óxido-reducción en humedales contruidos de flujo subsuperficial*. Tesina de especialidad. Departamento DEHMA. ETSECCPB. UPC. 104 pp.

Pistonesi, C., Haure, J.L, D'Elmar, R. (2010). *Energía a partir de aguas residuales*. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUtecNe. 63 pp.

Reddy, K.R., Feijtel, T.C, Patrick, W.H. Jr. (1986). *Effect of soil redox conditions on microbial oxidation of organicmatter*. In: The Role of Organic Matter in Modern Agriculture. Netherland, pp. 117-156.

Reed, S.C., Crites, R., Middlebrooks, E.J. (1995). *Natural Systems for Waste Management and Treatment*. Second Edition, McGraw-Hill: New York.

Robusté, J. (2004). *Humedales en explotación, experiencia en Catalunya*. En: *Nuevos Criterios para el Diseño y Operación de Humedales Contruidos. Una Alternativa de Bajo Coste para el Tratamiento de Aguas Residuales*. García, J., Morató, J., i Bayona, J.M. Universidad politécnica de Catalunya, Barcelona.

Schamphelaire, L., Rabaey, K., Boeckx, P., Boon, N., i Verstraete, W. (2008). *Outlook for benefits of sediment microbial fuel cells with two bio-electrodes*. Microbial Biotechnology, 1, 446-462.

Schamphelaire, L., Van den Bossche, L., Dang, H.S., Höfte. M., Boon, N., Rabaey, K., i Verstraete, W. (2008). *Microbial Fuell Cells Generating Electricity from Rhizodeposits of Rice Plants*. Environ. Sci. Technol. 42, 3053-3058.

Solórzano, L. (1969). *Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method*. Limnol. Oceanogr., 14: 799-801.

Ojeda, E. (2003). *Perfils Verticals de Temperatura i Contaminants i Estudi amb Traçador en Aiguamolls de F.S*. Tesina de especialitat. Departament DEHMA. ETSECCPB. UPC.

Ottoyá, V., Balcaroyá, J., i Vymazal, J. (1997). *Microbial Charactristics of Constructed Wetlands*. Wat. Sci. Tech., 35 (5), 117-123.

Ponnampemura, F.N. (1972). *The chemistry of submerged soils*. Adv. Agron. 24 (29), 29-96.

Servei Meteorològic de Catalunya. (2011). *Dades meteorològiques en estacions automàtiques (XEMA)*. Barcelona, Zona Universitària. Departament de Territori i Sostenibilitat. Generalitat de Catalunya.

Tanner, C.C., Clayton, J.S., Upsdell, M.P. (1994). *Effect of loading rate and planting on treatment of diary farm wastewaters in constructed wetlands. II. Removal of nitrogen and phosphorus*. Wat. Res. Vol. 29, No. pp. 27-34

Tukey, J. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley Publishing Company.

Wake, L.V., Christopher, R.K., Rickard, A.D., Anderson, J.E., Ralph, B.J. (1977). *A thermodynamics assessment of possible substrate for sulfate reducing bacteria*. Australian Journal of Biological Science 30: 155-172.

Wiebner, A., Kappelmeyer, U., Kusch, P., Kästner, M. (2005). *Influence of the redox condition dynamics on the removal efficiency of a laboratory-scale constructed wetland*. Water Res. 39, 248-256.

Younger, P.L., Banwart, S.A., Hedin R. (2002). *MineWater: hydrology, Pollution, Remediation*. Kluwer Academic Publishers. London, United Kingdom.

Giménez Admirable, Begoña (2010). *Avaluació del funcionament d'aiguamolls construïts amb diferents configuracions a partir de mesures en línia*.

Lesan Grau, Gemma (2009). *Disseny i construcció de noves configuracions de sistemes d'aiguamolls construïts de flux subsuperficial horitzontal per depurar aigües*.

ANNEX 1
DADES DE LES CAMPANYES DE MOSTREIG

Taula A1.1 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll CP2. Primera Campanya.

TEMPS	REDOX						TEMPERATURA
	5 cm		15 cm		25cm		
Data/ Hora	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	°C
06/06/2012 13:00	193.05	27.57	76.78	82.22	136.51	31.24	21.90
06/06/2012 14:00	197.03	12.15	63.72	81.30	145.34	29.22	21.70
06/06/2012 15:00	199.94	10.88	45.56	80.11	159.61	28.52	21.80
06/06/2012 16:00	197.29	12.79	38.80	79.43	145.97	36.53	22.70
06/06/2012 17:00	197.02	13.85	27.43	81.59	128.24	42.22	23.80
06/06/2012 18:00	199.48	11.11	30.64	79.25	155.43	43.33	23.80
06/06/2012 19:00	197.37	11.13	33.20	82.85	145.92	33.18	24.00
06/06/2012 20:00	201.67	9.37	32.79	81.11	165.77	36.18	23.20
06/06/2012 21:00	201.29	11.61	21.32	89.72	190.86	30.05	21.70
06/06/2012 22:00	198.55	11.22	27.26	88.00	174.39	31.30	21.60
06/06/2012 23:00	199.25	10.07	11.74	90.28	141.79	31.10	21.40
07/06/2012 0:00	199.43	9.36	12.89	90.95	150.88	32.39	21.30
07/06/2012 1:00	199.09	10.20	1.72	85.94	158.93	41.17	21.30
07/06/2012 2:00	196.34	10.98	-6.84	87.93	208.72	27.18	21.10
07/06/2012 3:00	196.65	9.41	-3.38	90.07	170.27	33.32	21.10
07/06/2012 4:00	193.95	12.24	-10.85	89.65	197.50	34.41	20.80
07/06/2012 5:00	189.41	17.04	-19.11	87.42	226.46	20.13	20.90
07/06/2012 6:00	192.51	15.01	-19.36	90.09	224.34	24.37	20.80
07/06/2012 7:00	194.97	10.64	-26.36	87.45	232.30	19.50	21.00
07/06/2012 8:00	195.01	12.57	-30.94	85.10	209.10	17.66	21.70
07/06/2012 9:00	189.16	16.22	-25.82	87.68	198.61	8.33	21.80
07/06/2012 10:00	192.08	12.42	-37.40	85.93	206.55	13.91	22.60
07/06/2012 11:00	192.59	14.06	-37.21	86.91	195.15	33.63	21.60
07/06/2012 12:00	194.38	13.72	-42.17	84.81	129.84	38.50	22.20

Taula A1.2 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll CP1. Primera Campanya.

TEMPS	REDOX						TEMPERATURA
	5 cm		15 cm		25cm		
Data/ Hora	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	°C
07/06/2012 13:00	193.05	27.57	76.78	82.22	136.51	31.24	21.90
07/06/2012 14:00	197.03	12.15	63.72	81.30	145.34	29.22	21.70
07/06/2012 15:00	199.94	10.88	45.56	80.11	159.61	28.52	21.80
07/06/2012 16:00	197.29	12.79	38.80	79.43	145.97	36.53	22.70
07/06/2012 17:00	197.02	13.85	27.43	81.59	128.24	42.22	23.80
07/06/2012 18:00	199.48	11.11	30.64	79.25	155.43	43.33	23.80
07/06/2012 19:00	197.37	11.13	33.20	82.85	145.92	33.18	24.00
07/06/2012 20:00	201.67	9.37	32.79	81.11	165.77	36.18	23.20
07/06/2012 21:00	201.29	11.61	21.32	89.72	190.86	30.05	21.70
07/06/2012 22:00	198.55	11.22	27.26	88.00	174.39	31.30	21.60
07/06/2012 23:00	199.25	10.07	11.74	90.28	141.79	31.10	21.40
08/06/2012 0:00	199.43	9.36	12.89	90.95	150.88	32.39	21.30
08/06/2012 1:00	199.09	10.20	1.72	85.94	158.93	41.17	21.30
08/06/2012 2:00	196.34	10.98	-6.84	87.93	208.72	27.18	21.10
08/06/2012 3:00	196.65	9.41	-3.38	90.07	170.27	33.32	21.10
08/06/2012 4:00	193.95	12.24	-10.85	89.65	197.50	34.41	20.80
08/06/2012 5:00	189.41	17.04	-19.11	87.42	226.46	20.13	20.90
08/06/2012 6:00	192.51	15.01	-19.36	90.09	224.34	24.37	20.80
08/06/2012 7:00	194.97	10.64	-26.36	87.45	232.30	19.50	21.00
08/06/2012 8:00	195.01	12.57	-30.94	85.10	209.10	17.66	21.70
08/06/2012 9:00	189.16	16.22	-25.82	87.68	198.61	8.33	21.80
08/06/2012 10:00	192.08	12.42	-37.40	85.93	206.55	13.91	22.60
08/06/2012 11:00	192.59	14.06	-37.21	86.91	195.15	33.63	21.60
08/06/2012 12:00	194.38	13.72	-42.17	84.81	129.84	38.50	22.20

Taula A1.3 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll AC1. Primera Campanya.

TEMPS	REDOX						TEMPERATURA
	5 cm		15 cm		25cm		
Data/ Hora	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	°C
16/05/2012 13:00	199.95	2.43	-193.84	6.24	-16.34	95.80	18.90
16/05/2012 14:00	200.71	3.88	-196.02	6.66	-15.52	95.28	19.40
16/05/2012 15:00	199.49	4.74	-197.41	6.57	-23.78	95.24	20.60
16/05/2012 16:00	200.87	5.66	-199.49	6.55	-28.34	95.63	20.60
16/05/2012 17:00	199.66	7.59	-199.07	33.99	-20.41	94.25	20.50
16/05/2012 18:00	204.95	13.92	-198.30	6.81	-24.14	92.71	20.00
16/05/2012 19:00	217.90	29.35	-194.49	6.85	-22.31	91.99	19.20
16/05/2012 20:00	206.51	20.35	-180.33	15.13	-25.03	93.30	17.90
16/05/2012 21:00	227.78	35.82	-194.38	6.73	-36.23	95.11	17.30
16/05/2012 22:00	229.53	37.88	-194.99	6.83	-26.11	92.96	17.30
16/05/2012 23:00	225.33	34.68	-197.20	6.85	-30.64	91.74	17.20
17/05/2012 0:00	212.05	25.70	-199.09	6.86	-29.88	96.55	17.50
17/05/2012 1:00	205.95	19.64	-200.91	6.73	-29.39	98.54	17.60
17/05/2012 2:00	213.65	21.94	-203.16	6.98	-34.84	95.21	17.60
17/05/2012 3:00	206.03	13.30	-203.90	6.77	-38.41	98.61	17.50
17/05/2012 4:00	204.47	11.24	-206.38	6.39	-30.76	94.45	17.60
17/05/2012 5:00	224.95	32.09	-208.20	6.70	-17.80	97.33	17.10
17/05/2012 6:00	210.33	20.03	-208.09	6.57	-24.79	96.54	16.90
17/05/2012 7:00	201.33	7.05	-208.68	6.70	-24.59	98.32	16.60
17/05/2012 8:00	208.75	15.93	-209.81	6.78	-23.18	98.60	16.10
17/05/2012 9:00	204.66	5.90	-209.28	6.64	-24.46	100.20	16.20
17/05/2012 10:00	214.18	21.38	-209.17	6.46	-25.95	99.21	16.70
17/05/2012 11:00	231.44	36.77	-209.32	6.81	-34.98	94.02	17.10
17/05/2012 12:00	227.53	32.74	-210.14	7.09	-26.42	96.19	16.70
17/05/2012 13:00	202.31	7.59	-204.68	33.99	-35.36	94.25	17.10

Taula A1.4 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll AC2. Primera Campanya.

TEMPS	REDOX						TEMPERATURA
	5 cm		15 cm		25cm		
Data/ Hora	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	°C
09/05/2012 13:00	204.02	11.84	-196.89	6.11	-39.89	89.32	22.00
09/05/2012 14:00	204.00	6.90	-196.60	6.25	-34.01	86.00	23.30
09/05/2012 15:00	212.65	20.98	-200.63	7.26	-32.01	83.64	20.90
09/05/2012 16:00	204.88	14.79	-199.20	6.69	-32.89	87.00	18.90
09/05/2012 17:00	202.20	18.58	-201.19	5.89	-26.07	84.15	20.40
09/05/2012 18:00	201.13	4.22	-200.87	6.40	-21.55	86.70	21.00
09/05/2012 19:00	211.56	22.93	-195.72	7.25	-32.77	90.20	20.30
09/05/2012 20:00	225.50	29.23	-202.95	6.57	-37.83	88.54	19.90
09/05/2012 21:00	208.30	17.02	-202.43	6.37	-43.01	90.28	18.60
09/05/2012 22:00	218.45	26.63	-200.67	6.18	-41.62	92.03	18.20
09/05/2012 23:00	228.43	27.64	-200.08	6.31	-45.57	94.04	18.20
10/05/2012 0:00	208.35	18.95	-200.03	6.35	-40.24	93.37	18.30
10/05/2012 1:00	228.87	30.67	-200.21	6.32	-47.14	93.37	17.30
10/05/2012 2:00	238.37	28.93	-200.96	6.01	-38.15	90.25	16.10
10/05/2012 3:00	213.16	28.56	-201.11	6.61	-30.43	91.97	15.80
10/05/2012 4:00	227.24	36.96	-201.77	6.54	-30.77	92.43	15.70
10/05/2012 5:00	207.38	18.97	-202.41	6.79	-29.13	92.64	15.60
10/05/2012 6:00	242.72	35.93	-202.71	6.74	-30.30	94.05	15.50
10/05/2012 7:00	207.72	22.09	-203.92	6.64	-31.11	94.78	15.40
10/05/2012 8:00	203.82	8.22	-204.19	6.84	-34.51	97.01	16.20
10/05/2012 9:00	227.16	30.86	-203.03	6.70	-38.70	95.83	15.90
10/05/2012 10:00	240.70	30.29	-202.12	6.81	-44.34	91.15	15.40
10/05/2012 11:00	230.64	29.84	-203.56	6.01	-51.25	87.96	15.90
10/05/2012 12:00	237.89	27.49	-202.99	6.12	-42.45	84.56	17.40
10/05/2012 13:00	221.97	25.24	-201.59	5.95	-47.59	82.38	18.10

Taula A1.5 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll AC1. Segona Campanya.

TEMPS	REDOX						TEMPERATURA
	5 cm		15 cm		25cm		
Data/ Hora	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	°C
18/06/2012 13:00	196.29	3.66	-262.96	31.75	169.84	3.66	24.80
18/06/2012 14:00	171.01	48.48	-265.07	31.01	166.44	48.48	25.60
18/06/2012 15:00	101.16	67.06	-268.36	28.58	168.73	67.06	26.70
18/06/2012 16:00	82.03	47.09	-269.54	28.67	187.34	47.09	26.10
18/06/2012 17:00	116.23	40.54	-266.46	28.44	204.79	40.54	27.00
18/06/2012 18:00	157.27	17.21	-268.07	28.68	179.61	17.21	27.80
18/06/2012 19:00	152.63	12.03	-269.31	27.84	195.64	12.03	27.90
18/06/2012 20:00	169.78	11.27	-266.46	29.08	145.85	11.27	27.90
18/06/2012 21:00	163.24	13.95	-268.36	29.53	139.64	13.95	27.00
18/06/2012 22:00	172.81	27.94	-272.46	29.69	131.80	27.94	26.60
18/06/2012 23:00	130.65	48.28	-270.93	28.84	150.15	48.28	26.50
19/06/2012 0:00	157.58	55.05	-268.06	29.70	183.64	55.05	26.40
19/06/2012 1:00	113.78	57.97	-273.47	28.59	166.14	57.97	25.10
19/06/2012 2:00	153.94	45.99	-273.97	27.12	176.52	45.99	24.60
19/06/2012 3:00	146.07	52.48	-272.70	28.07	157.26	52.48	24.30
19/06/2012 4:00	190.72	16.81	-275.02	28.15	181.55	16.81	24.30
19/06/2012 5:00	166.02	32.08	-273.38	28.77	149.72	32.08	22.80
19/06/2012 6:00	172.15	36.98	-271.16	30.45	143.66	36.98	23.40
19/06/2012 7:00	177.71	23.88	-272.81	28.57	160.93	23.88	23.50
19/06/2012 8:00	171.63	30.64	-271.33	30.66	160.72	30.64	25.00
19/06/2012 9:00	168.50	35.18	-273.83	29.66	140.03	35.18	25.70
19/06/2012 10:00	196.23	10.00	-274.80	28.27	149.35	10.00	25.90
19/06/2012 11:00	189.74	18.77	-273.64	27.86	172.92	18.77	25.10
19/06/2012 12:00	123.46	54.11	-272.51	28.49	168.36	54.11	24.80

Taula A1.6 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll AC2. Segona Campanya.

TEMPS	REDOX						TEMPERATURA
	5 cm		15 cm		25cm		
Data/ Hora	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	°C
05/06/2012 13:00	217.20	30.50	-42.31	66.05	132.62	54.95	21.20
05/06/2012 14:00	211.27	40.64	-82.78	67.22	164.41	43.02	20.60
05/06/2012 15:00	220.01	40.25	-101.37	65.04	135.44	54.14	20.80
05/06/2012 16:00	228.84	33.81	-107.48	68.19	138.73	51.21	21.20
05/06/2012 17:00	240.14	43.32	-108.65	67.37	139.94	54.96	21.20
05/06/2012 18:00	249.57	38.63	-113.93	66.98	184.94	39.81	20.60
05/06/2012 19:00	213.92	36.05	-120.19	63.53	194.39	32.94	21.50
05/06/2012 20:00	222.71	32.02	-110.28	65.61	195.27	24.82	20.70
05/06/2012 21:00	208.05	23.81	-122.36	68.98	206.01	15.91	20.20
05/06/2012 22:00	207.73	14.03	-136.56	66.23	222.04	25.46	19.90
05/06/2012 23:00	206.20	49.61	-143.80	67.43	211.76	30.60	19.60
06/06/2012 0:00	197.64	51.68	-171.11	68.76	236.77	42.09	19.30
06/06/2012 1:00	220.98	35.76	-191.96	64.63	205.49	64.45	19.20
06/06/2012 2:00	217.86	48.05	-194.29	65.27	196.47	63.30	19.80
06/06/2012 3:00	251.17	35.91	-205.80	63.04	151.90	58.43	19.90
06/06/2012 4:00	248.53	39.75	-192.15	65.96	115.46	80.70	19.90
06/06/2012 5:00	223.31	45.65	-203.91	64.97	190.41	24.26	20.00
06/06/2012 6:00	237.50	38.94	-199.93	68.53	207.14	36.85	19.20
06/06/2012 7:00	240.64	33.21	-194.09	65.13	224.16	17.73	19.10
06/06/2012 8:00	236.10	43.61	-211.18	62.34	217.98	31.69	19.70
06/06/2012 9:00	243.63	34.73	-216.32	62.13	205.51	38.58	21.10
06/06/2012 10:00	209.55	27.22	-230.07	55.90	245.22	15.98	22.30
06/06/2012 11:00	208.27	29.52	-243.06	47.79	234.37	26.68	22.20
06/06/2012 12:00	218.32	33.60	-251.62	43.32	207.41	51.02	21.70

Taula A1.7 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll CP1. Segona Campanya.

TEMPS	REDOX						TEMPERATURA
	5 cm		15 cm		25cm		
Data/ Hora	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	°C
12/06/2012 13:00	196.85	8.42	56.00	82.79	177.03	23.06	21.90
12/06/2012 14:00	197.63	8.85	58.64	81.94	180.27	16.49	22.10
12/06/2012 15:00	196.67	10.17	61.19	83.23	157.77	24.21	22.60
12/06/2012 16:00	202.37	7.43	48.45	81.61	170.76	29.35	22.90
12/06/2012 17:00	201.24	7.47	13.78	87.77	171.60	22.27	22.90
12/06/2012 18:00	198.29	10.34	17.36	91.10	176.93	18.17	22.50
12/06/2012 19:00	203.03	9.25	28.04	85.58	162.34	21.05	22.10
12/06/2012 20:00	205.32	9.09	18.41	84.10	170.61	31.58	21.20
12/06/2012 21:00	208.54	8.97	25.57	92.44	153.02	26.75	20.70
12/06/2012 22:00	209.61	7.78	8.42	89.30	165.25	29.06	20.50
12/06/2012 23:00	208.52	8.50	4.23	87.43	163.98	33.00	20.40
13/06/2012 0:00	208.69	7.86	-14.90	89.86	124.46	31.18	19.50
13/06/2012 1:00	212.38	8.38	-34.04	84.77	161.25	35.57	19.00
13/06/2012 2:00	209.96	10.13	-50.44	88.56	181.82	23.78	18.60
13/06/2012 3:00	212.76	9.73	-47.16	90.49	158.61	35.01	18.20
13/06/2012 4:00	207.00	7.98	-70.49	87.66	147.35	31.78	17.80
13/06/2012 5:00	208.16	7.34	-76.57	91.36	195.07	23.69	17.60
13/06/2012 6:00	211.87	9.09	-82.36	90.40	170.04	32.90	17.80
13/06/2012 7:00	209.22	9.12	-78.17	84.86	119.73	36.27	18.10
13/06/2012 8:00	207.75	8.82	-102.12	85.98	148.77	36.22	19.10
13/06/2012 9:00	207.69	8.52	-93.95	83.39	161.28	31.05	19.80
13/06/2012 10:00	209.73	8.58	-105.30	80.33	177.33	21.87	19.80
13/06/2012 11:00	207.16	8.95	-111.52	81.26	178.05	21.89	21.50
13/06/2012 12:00	209.29	9.16	-117.64	80.04	168.26	17.51	23.20
13/06/2012 13:00	210.10	8.91	-137.51	80.09	170.70	20.34	22.70

Taula A1.8 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll CP2. Segona Campanya

TEMPS	REDOX						TEMPERATURA
	5 cm		15 cm		25cm		
Data/ Hora	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	°C
09/06/2012 13:00	194.28	8.12	-18.37	79.25	150.41	41.17	22.10
09/06/2012 14:00	194.16	9.33	-0.58	79.96	111.01	20.52	22.40
09/06/2012 15:00	193.84	8.91	-14.20	80.29	101.04	29.38	23.10
09/06/2012 16:00	192.25	10.67	-18.72	82.05	83.60	27.01	23.00
09/06/2012 17:00	192.54	10.20	-24.55	82.87	76.11	26.51	23.40
09/06/2012 18:00	195.24	10.46	-39.15	83.08	75.24	24.72	22.90
09/06/2012 19:00	195.41	8.87	-34.93	82.27	72.30	31.48	22.10
09/06/2012 20:00	194.57	8.98	-41.38	80.91	65.06	26.92	21.70
09/06/2012 21:00	197.05	1.05	-4.77	36.13	56.87	7.06	21.00
09/06/2012 22:00	196.20	9.33	-69.77	83.17	81.15	28.73	22.00
09/06/2012 23:00	197.40	12.60	-74.88	83.01	37.42	26.62	21.90
10/06/2012 0:00	201.38	10.64	-85.80	84.92	32.99	19.18	21.70
10/06/2012 1:00	204.40	9.02	-86.18	85.34	31.42	27.60	21.50
10/06/2012 2:00	205.96	11.06	-97.82	87.93	31.33	27.38	21.20
10/06/2012 3:00	208.06	11.60	-101.21	87.42	-7.43	22.90	21.10
10/06/2012 4:00	206.26	9.89	-93.49	88.13	5.08	20.58	20.80
10/06/2012 5:00	207.03	10.51	-97.99	85.76	1.99	21.58	20.60
10/06/2012 6:00	208.81	9.95	-103.57	88.75	10.88	25.72	20.40
10/06/2012 7:00	209.24	10.01	-116.46	84.96	-25.67	18.50	20.40
10/06/2012 8:00	209.53	10.52	-106.98	87.97	-25.99	19.76	20.80
10/06/2012 9:00	208.92	10.19	-101.14	86.71	-4.43	18.64	22.50
10/06/2012 10:00	208.77	11.64	-110.18	85.89	-8.57	20.33	23.30
10/06/2012 11:00	206.69	12.25	-108.38	83.98	-18.80	27.20	22.30
10/06/2012 12:00	198.88	11.04	-117.62	83.50	14.36	19.95	22.60

Taula A1.9 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll AC1. Tercera Campanya

TEMPS	REDOX						TEMPERATURA
	5 cm		15 cm		25cm		
Data/ Hora	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	°C
16/09/2012 13:00	167.12	33.69	-284.90	20.14	75.87	15.99	22.60
16/09/2012 14:00	141.21	26.39	-286.49	18.70	53.07	21.21	22.80
16/09/2012 15:00	137.23	25.93	-287.02	17.24	75.82	43.73	23.40
16/09/2012 16:00	144.28	34.52	-289.95	15.20	59.95	22.59	24.40
16/09/2012 17:00	140.68	43.30	-293.58	12.27	96.26	8.78	23.80
16/09/2012 18:00	142.55	25.92	-293.67	10.69	48.21	25.97	24.60
16/09/2012 19:00	143.43	19.30	-293.36	11.14	50.33	20.61	24.80
16/09/2012 20:00	162.23	34.74	-274.85	34.91	101.60	42.63	24.20
16/09/2012 21:00	126.34	30.28	-295.40	8.78	24.50	13.78	23.90
16/09/2012 22:00	178.94	33.37	-296.59	7.55	20.61	13.53	23.40
16/09/2012 23:00	150.60	39.63	-296.83	7.43	16.98	13.12	22.90
17/09/2012 0:00	133.75	52.98	-296.72	7.13	40.59	14.70	22.70
17/09/2012 1:00	131.66	40.54	-297.23	6.42	22.42	16.25	22.40
17/09/2012 2:00	101.96	36.48	-297.23	6.66	4.80	9.09	21.50
17/09/2012 3:00	188.93	13.47	-297.36	6.49	0.50	7.26	21.10
17/09/2012 4:00	177.06	27.34	-297.25	6.53	-0.21	5.49	20.40
17/09/2012 5:00	156.49	47.03	-297.19	6.89	1.33	5.40	20.00
17/09/2012 6:00	175.26	39.41	-296.30	8.51	24.06	28.35	19.00
17/09/2012 7:00	198.89	7.12	-296.23	8.35	-9.60	10.50	18.70
17/09/2012 8:00	194.19	20.00	-295.40	9.50	-11.49	25.76	20.10
17/09/2012 9:00	194.79	8.92	-293.40	11.76	-13.75	25.24	21.70
17/09/2012 10:00	130.35	34.52	-292.91	12.87	-1.36	31.54	22.70
17/09/2012 11:00	77.53	43.65	-293.17	12.33	-33.60	5.84	23.70
17/09/2012 12:00	76.68	64.75	-292.21	13.28	-37.54	8.71	24.60

Taula A1.10 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll AC2. Tercera Campanya

TEMPS	REDOX						TEMPERATURA
	5 cm		15 cm		25cm		
Data/ Hora	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	°C
13/09/2012 13:00	167.12	33.69	168.16	30.07	-292.84	12.96	25.60
13/09/2012 14:00	141.21	26.39	165.52	30.19	-291.96	13.06	25.70
13/09/2012 15:00	137.23	25.93	160.37	30.77	-294.64	10.15	27.20
13/09/2012 16:00	144.28	34.52	155.80	23.17	-295.21	9.46	26.80
13/09/2012 17:00	140.68	38.88	147.96	23.60	-296.23	190.30	26.70
13/09/2012 18:00	142.55	25.92	175.64	28.62	-296.77	7.07	26.40
13/09/2012 19:00	143.43	19.30	153.04	35.55	-296.29	7.77	23.80
13/09/2012 20:00	162.23	34.74	168.98	34.63	-277.47	34.78	22.10
13/09/2012 21:00	126.34	30.28	143.49	32.74	-289.70	17.78	21.50
13/09/2012 22:00	178.94	33.37	160.67	30.54	-284.39	22.70	21.80
13/09/2012 23:00	150.60	39.63	172.48	24.57	-288.11	19.01	21.30
14/09/2012 0:00	133.75	52.98	196.91	6.82	-288.92	17.90	21.20
14/09/2012 1:00	131.66	40.54	180.67	24.47	-288.52	18.39	20.70
14/09/2012 2:00	101.96	36.48	174.52	19.72	-293.92	12.68	20.40
14/09/2012 3:00	188.93	13.47	164.06	17.17	-295.55	9.78	20.70
14/09/2012 4:00	177.06	27.34	162.89	26.09	-294.42	11.12	20.70
14/09/2012 5:00	156.49	47.03	148.07	34.79	-277.71	31.81	20.70
14/09/2012 6:00	175.26	39.41	147.21	39.34	-267.54	37.13	20.30
14/09/2012 7:00	198.89	7.12	134.33	27.83	-264.56	38.28	19.70
14/09/2012 8:00	194.19	20.00	146.37	36.62	-265.15	39.65	19.90
14/09/2012 9:00	194.79	8.92	159.62	27.61	-261.07	42.37	21.50
14/09/2012 10:00	130.35	34.52	150.89	32.43	-268.93	38.03	21.20
14/09/2012 11:00	77.53	43.65	137.09	33.44	-270.69	35.23	22.30
14/09/2012 12:00	76.68	64.75	148.76	30.19	-279.12	29.45	22.90
14/09/2012 13:00	82.16	38.88	188.46	23.60	-155.47	190.30	23.30

Taula A1.11 Dades del potencial redox, desviació estàndard, temperatura i irradiància solar de l'aiguamoll CP1. Tercera Campanya

TEMPS	REDOX						TEMPERATURA
	5 cm		15 cm		25cm		
Data/ Hora	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	ORP (mV)	Desvest	°C
10/09/2012 13:00	191.97	12.84	-292.25	13.31	167.21	31.94	25.60
10/09/2012 14:00	192.79	12.91	-293.07	11.93	163.53	30.82	25.70
10/09/2012 15:00	187.90	13.27	-294.70	9.99	157.90	27.36	27.20
10/09/2012 16:00	193.97	17.10	-295.55	97.23	156.61	27.18	26.80
10/09/2012 17:00	192.68	13.14	-296.47	7.41	154.39	29.83	26.70
10/09/2012 18:00	196.34	11.16	-296.79	6.95	176.94	25.78	26.40
10/09/2012 19:00	195.69	12.16	-273.68	40.91	168.45	34.55	23.80
10/09/2012 20:00	202.77	10.12	-293.70	11.07	173.05	28.76	22.10
10/09/2012 21:00	202.69	10.24	-286.10	21.98	141.40	28.26	21.50
10/09/2012 22:00	204.74	10.88	-285.15	22.02	165.06	30.07	21.80
10/09/2012 23:00	207.96	10.92	-290.28	16.38	182.20	22.40	21.30
11/09/2012 0:00	209.04	10.28	-287.14	19.16	197.57	9.50	23.90
11/09/2012 1:00	214.98	12.46	-290.52	16.53	171.35	23.21	24.00
11/09/2012 2:00	217.87	12.90	-295.49	10.21	172.29	19.37	24.00
11/09/2012 3:00	214.92	11.85	-295.27	10.15	162.46	19.83	23.30
11/09/2012 4:00	213.76	12.54	-292.68	14.37	151.33	32.90	22.80
11/09/2012 5:00	212.86	10.65	-270.21	36.07	164.31	30.09	22.30
11/09/2012 6:00	212.88	11.10	-265.28	38.59	134.37	35.29	22.30
11/09/2012 7:00	212.94	10.73	-266.47	37.01	141.01	31.76	21.50
11/09/2012 8:00	217.83	12.42	-261.60	41.10	147.01	34.76	22.10
11/09/2012 9:00	219.02	13.11	-263.71	41.98	154.01	31.06	23.50
11/09/2012 10:00	218.91	13.65	-271.77	35.61	152.49	31.21	24.90
11/09/2012 11:00	218.58	12.41	-269.66	35.32	133.79	33.93	26.40
11/09/2012 12:00	225.20	17.10	-276.42	29.34	161.08	27.18	26.20

Taula A1.12 Dades de la concentració de DQO als diferents punts de mostreig del sistema de tractament. 4 primeres setmanes.

MOSTRA	TIPUS	18.04.2012				25.04.2012				03.05.2012				09.05.2012			
		litres	1 tub	2 tub	g/dia	litres	1 tub	2 tub	g/dia	litres	1 tub	2 tub	g/dia	litres	1 tub	2 tub	g/dia
			ppm				ppm				ppm				ppm		
EC1	Soluble	21.0	147.65	174.64	3.38	21.0	103.76	114.67	3.38	21.0	286.42	264.61	5.79	21.0	297.33	270.06	5.96
EC2		21.0	147.38	158.29	3.21	21.0	223.72	128.30	3.21	10.0	289.15	305.51	2.97	16.5	324.59	335.49	5.45
ECP1		21.0	81.95	84.68	1.75	21.0	60.14	109.21	1.75	19.5	-	-	-	21.0	330.04	335.49	6.99
ECP2		21.0	111.94	155.56	2.81	21.0	321.86	128.30	2.81	12.0	-	-	-	21.0	242.80	237.35	5.04
SC1		21.0	73.77	79.22	1.61	21.0	60.14	81.95	1.61	21.0	30.15	-	0.63	14.0	256.43	248.25	3.53
SC2		21.0	32.88	43.78	0.80	21.0	98.31	76.50	0.80	6.0	62.87	16.52	0.24	2.0	297.33	300.05	0.60
SCP1		21.0	51.96	73.77	1.32	21.0	27.42	133.75	1.32	21.0	41.06	24.70	0.69	16.5	234.62	226.44	3.80
SCP2		20.0	117.39	81.95	1.99	20.0	-	150.11	1.99	8.0	103.76	41.06	0.58	2.0	240.07	234.62	0.47
EC1	Total	21.0	234.62	-	4.93	21.0	150.11	196.45	4.93	9.0	490.89	-	4.42	21.0	264.61	234.62	5.24
EC2		21.0	286.42	-	6.01	21.0	185.55	180.10	6.01	21.0	872.57	-	18.32	21.0	242.80	291.87	5.61
ECP1		21.0	542.69	158.29	7.36	21.0	163.74	136.48	7.36	-	-	-	-	21.0	294.60	289.15	6.13
ECP2		21.0	158.29	-	3.32	21.0	150.11	275.52	3.32	-	-	-	-	21.0	248.25	278.24	5.53
SC1		21.0	207.36	-	4.35	21.0	92.86	150.11	4.35	19.5	21.97	-	0.43	21.0	41.06	92.86	1.41
SC2		21.0	51.96	46.51	1.03	21.0	16.52	-	1.03	12.0	79.22	95.58	1.05	20.0	169.19	212.81	3.82
SCP1		21.0	49.24	60.14	1.15	21.0	19.25	-	1.15	21.0	38.33	106.49	1.52	14.0	38.33	60.14	0.69
SCP2		21.0	73.77	81.95	1.64	21.0	92.86	-	1.64	21.0	38.33	57.41	1.01	21.0	41.06	43.78	0.89

Taula A1.13 Dades de la concentració de DQO als diferents punts de mostreig del sistema de tractament. 5, 6 i 7 setmanes.

MOSTRA	TIPUS	16.05.2012				23.05.2012				30.05.2012			
		litres	1 tub	2 tub	g/dia	litres	1 tub	2 tub	g/dia	litres	1 tub	2 tub	g/dia
			ppm				ppm				ppm		
EC1	Soluble	21.0	351.85	400.93	7.90	21.0	305.51	343.67	6.82	21.0	561.78	501.80	11.17
EC2		21.0	362.76	338.22	7.36	20.0	291.87	300.05	5.92	21.0	327.32	477.26	8.45
ECP1		20.0	319.14	409.10	7.28	20.0	302.78	234.62	5.37	21.0	270.06	343.67	6.44
ECP2		20.0	335.49	291.87	6.27	17.0	294.60	310.96	5.15	21.0	400.93	330.04	7.68
SC1		21.0	308.23	302.78	6.42	21.0	310.96	310.96	6.53	21.0	370.94	370.94	7.79
SC2		19.0	349.13	370.94	6.84	16.5	321.86	289.15	5.04	21.0	286.42	474.53	7.99
SCP1		21.0	171.92	171.92	3.61	21.0	275.52	207.36	5.07	21.0	321.86	185.55	5.33
SCP2		21.0	158.29	188.28	3.64	19.0	174.64	308.23	4.59	21.0	163.74	166.47	3.47
EC1	Total	21.0	848.04	1011.61	19.53	21.0	240.07	338.22	6.07	21.0	460.90	479.99	9.88
EC2		21.0	703.54	621.75	13.92	21.0	259.16	253.71	5.39	21.0	365.48	354.58	7.56
ECP1		21.0	223.72	242.80	4.90	21.0	215.54	223.72	4.61	21.0	-	373.66	7.85
ECP2		18.0	240.07	313.68	4.98	18.0	215.54	191.00	3.66	21.0	436.37	450.00	9.31
SC1		21.0	131.02	128.30	2.72	20.0	155.56	166.47	3.22	21.0	207.36	185.55	4.13
SC2		10.0	338.22	155.56	2.47	14.0	272.79	308.23	4.07	-	-	-	-
SCP1		21.0	21.97	8.34	0.32	21.0	106.49	215.54	3.38	-	-	-	-
SCP2		21.0	35.60	13.79	0.52	21.0	81.95	65.59	1.55	-	-	-	-

Taula A1.14 Dades de la concentració de DQO als diferents punts de mostreig del sistema de tractament. 3 últimes setmanes.

MOSTRA	TIPUS	6.06.2012				13.06.2012				18.07.2012			
		litres	1 tub	2 tub	g/dia	litres	1 tub	2 tub	g/dia	litres	1 tub	2 tub	g/dia
			ppm				ppm				ppm		
EC1	Soluble	21.0	-	-	-	21.0	349.13	409.10	7.96	21.0	351.85	215.54	5.96
EC2		7.0	-	-	-	21.0	242.80	226.44	4.93	21.0	259.16	147.38	4.27
ECP1		15.0	185.55	185.55	2.78	21.0	379.12	234.62	6.44	21.0	180.10	147.38	3.44
ECP2		21.0	191.00	193.73	4.04	21.0	207.36	212.81	4.41	21.0	191.00	131.02	3.38
SC1		21.0	-	-	-	21.0	360.03	297.33	6.90	4.0	400.93	477.26	1.76
SC2		16.5	-	-	-	13.0	335.49	409.10	4.84	15.0	264.61	270.06	4.01
SCP1		15.0	-	-	-	6.0	237.35	512.70	2.25	15.0	234.62	152.83	2.91
SCP2		21.0	-	-	-	13.0	338.22	218.26	3.62	14.0	220.99	191.00	2.88
EC1	Total	5.0	-	-	-	21.0	384.57	319.14	7.39	21.0	122.84	106.49	2.41
EC2		21.0	-	-	-	21.0	289.15	180.10	4.93	21.0	128.30	114.67	2.55
ECP1		21.0	283.70	294.60	6.07	21.0	158.29	106.49	2.78	21.0	41.06	218.26	2.72
ECP2		21.0	351.85	300.05	6.85	21.0	155.56	256.43	4.33	21.0	76.50	27.42	1.09
SC1		15.0	-	-	-	21.0	182.82	98.31	2.95	2.0	-	809.87	1.62
SC2		21.0	201.91	1063.41	13.29	13.0	212.81	267.34	3.12	21.0	-	-	-
SCP1		21.0	98.31	343.67	4.64	21.0	60.14	46.51	1.12	21.0	-	-	-
SCP2		21.0	98.31	248.25	3.64	21.0	204.63	188.28	4.13	21.0	-	-	-

Taula A1.15 Dades de la concentració d'amoni als diferents punts de mostreig del sistema de tractament. 6 primeres setmanes.

MOSTRA	17.04.2012		25.04.2012		03.05.2012		09.05.2012		16.05.2012		23.05.2012	
	<i>Dil X:50</i>	<i>ppm</i>	<i>Dil X:50</i>	<i>ppm</i>	<i>Dil X:50</i>	<i>ppm</i>	<i>Dil X:50</i>	<i>ppm</i>	<i>Dil X:50</i>	<i>ppm</i>	<i>Dil X:50</i>	<i>ppm</i>
EC1	5.0	14.82	2.0	18.91	2.0	22.51	2.0	31.32	0.5	57.96	0.50	63.66
EC2	5.0	16.33	2.0	19.07	2.0	22.55	2.0	36.83	0.5	60.93	0.50	63.66
ECP1	5.0	15.11	2.0	17.45	-	-	2.0	25.41	5.0	5.11	2.00	24.34
ECP2	5.0	15.40	2.0	17.38	-	-	2.0	24.12	1.0	54.07	1.00	99.42
SC1	5.0	2.87	10.0	7.37	5.0	6.90	5.0	4.09	5.0	0.82	5.00	1.50
SC2	5.0	0.70	2.0	11.93	2.0	4.25	2.0	1.76	3.0	0.82	3.00	0.59
SCP1	5.0	1.45	50.0	0.62	50.0	0.49	25.0	0.95	25.0	0.97	25.00	3.27
SCP2	5.0	2.91	10.0	3.12	15.0	0.30	15.0	0.11	50.0	0.31	50.00	0.32
	<i>litres</i>	<i>g/dia</i>	<i>litres</i>	<i>g/dia</i>	<i>litres</i>	<i>g/dia</i>	<i>litres</i>	<i>g/dia</i>	<i>litres</i>	<i>g/dia</i>	<i>litres</i>	<i>g/dia</i>
EC1	21.0	0.31	21.0	0.40	9.0	0.20	21.0	0.66	21.0	1.22	21.0	1.34
EC2	21.0	0.34	21.0	0.40	21.0	0.47	21.0	0.77	21.0	1.28	21.0	1.34
ECP1	21.0	0.32	19.0	0.33	-	-	21.0	0.53	21.0	0.11	21.0	0.51
ECP2	21.0	0.32	18.0	0.31	-	-	21.0	0.51	18.0	0.97	18.0	1.79
SC1	21.0	0.06	20.5	0.15	19.5	0.13	21.0	0.09	21.0	0.02	20.0	0.03
SC2	21.0	0.01	17.0	0.20	12.0	0.05	20.0	0.04	10.0	0.01	14.0	0.01
SCP1	21.0	0.03	17.5	0.01	21.0	0.01	14.0	0.01	21.0	0.02	21.0	0.07
SCP2	21.0	0.06	21.0	0.07	21.0	0.01	21.0	0.00	21.0	0.01	21.0	0.01

Taula A1.16 Dades de la concentració d'amoni als diferents punts de mostreig del sistema de tractament. 5 últimes setmanes

MOSTRA	30.05.2012		06.06.2012		13.06.2012		20.06.2012		18.07.2012	
	<i>Dil X:50</i>	<i>ppm</i>	<i>Dil X:50</i>	<i>ppm</i>	<i>Dil X:50</i>	<i>ppm</i>	<i>Dil X:50</i>	<i>ppm</i>	<i>Dil X:50</i>	<i>ppm</i>
EC1	0.5	60.56	0.5	36.28	0.5	56.35	0.5	17.84	1.0	29.23
EC2	0.5	89.06	0.5	35.50	0.5	55.36	0.5	19.47	1.0	30.41
ECP1	0.5	52.63	0.5	34.88	0.5	43.96	1.0	14.64	1.0	20.68
ECP2	0.5	58.58	0.5	32.39	1.0	43.60	1.0	13.59	1.0	21.73
SC1	5.0	0.28	5.0	0.66	35.0	0.32	35.0	0.81	35.0	2.21
SC2	20.0	2.61	15.0	1.27	20.0	1.01	35.0	0.23	35.0	0.18
SCP1	15.0	0.36	15.0	1.31	20.0	1.29	30.0	0.09	30.0	0.69
SCP2	50.0	0.80	50.0	0.16	50.0	0.19	50.0	0.02	50.0	0.58
	<i>litres</i>	<i>g/dia</i>	<i>litres</i>	<i>g/dia</i>	<i>litres</i>	<i>g/dia</i>	<i>litres</i>	<i>g/dia</i>	<i>litres</i>	<i>g/dia</i>
EC1	21.0	1.27	21.0	0.76	21.0	1.18	21.0	0.37	21.0	0.61
EC2	21.0	1.87	21.0	0.75	21.0	1.16	21.0	0.41	21.0	0.64
ECP1	21.0	1.11	21.0	0.73	21.0	0.92	21.0	0.31	21.0	0.43
ECP2	21.0	1.23	21.0	0.68	21.0	0.92	21.0	0.29	21.0	0.46
SC1	21.0	0.01	21.0	0.01	21.0	0.01	15.0	0.01	15.0	0.03
SC2	21.0	0.05	21.0	0.03	13.0	0.01	15.0	0.003	15.0	0.00
SCP1	21.0	0.01	21.0	0.03	21.0	0.03	21.0	0.002	21.0	0.01
SCP2	21.0	0.02	21.0	0.00	21.0	0.00	21.0	0.00043	4.0	0.002

Taula A1.17 Dades de la concentració de DBO Total als diferents punts de mostreig del sistema de tractament.

			AC1		AC2		CP1	
Profunditat (cm)			25 cm	5 cm	25 cm	5 cm	5 cm	25 cm
Dilució (ml)			250 ml	250 ml	250 ml	250 ml	365 ml	365 ml
Dies	1	Total	75	40	85	40	22	24
	2		85	50	125	50	28	44
	3		95	55	135	60	34	56
	4		100	55	145	65	38	62
	5		105	60	150	65	40	66

Taula A1.17 Dades de la concentració de DBO Soluble als diferents punts de mostreig del sistema de tractament.

			AC2			CP1			AC1			Blanc
Profunditat (cm)			5 cm	15 cm	25 cm	5 cm	15 cm	25	5 cm	15 cm	25 cm	250 ml
Dilució (ml)			250 ml	250 ml	250 ml	250 ml	250 ml	250 ml	250 ml	250 ml	250 ml	
Dies	1	Soluble	75	15	15	5	20	15	10	15	5	5
	2		35	30	30	25	30	35	35	40	30	5
	3		40	40	45	25	30	35	40	40	35	5
	4		50	45	50	30	35	40	45	45	45	5
	5		55	50	55	30	35	45	50	50	50	5

ANNEX 2
PERFILS DE LES CAMPANYES DE MOSTREIG

A2.1 Aiguamoll alimentat HUSB, AC2. Campanya 1.

Lectura del potencial redox mitjà a 5 cm de profunditat

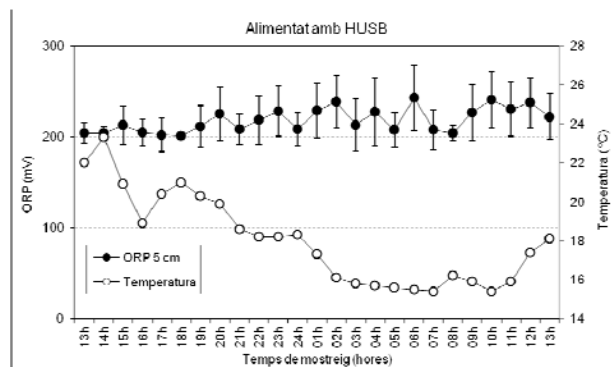


Figura A2.1 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari AC2 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà a 15 cm de profunditat

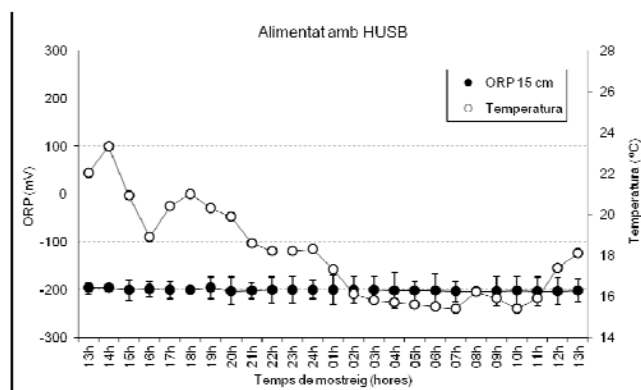


Figura A2.2 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari AC2 i Temperatura

Lectura del Potencial redox mitjà a 25 cm de profunditat

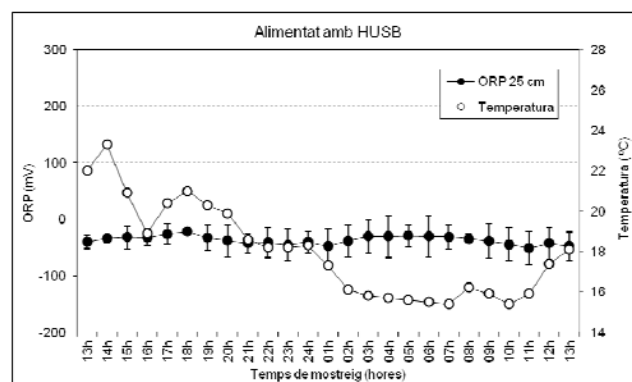
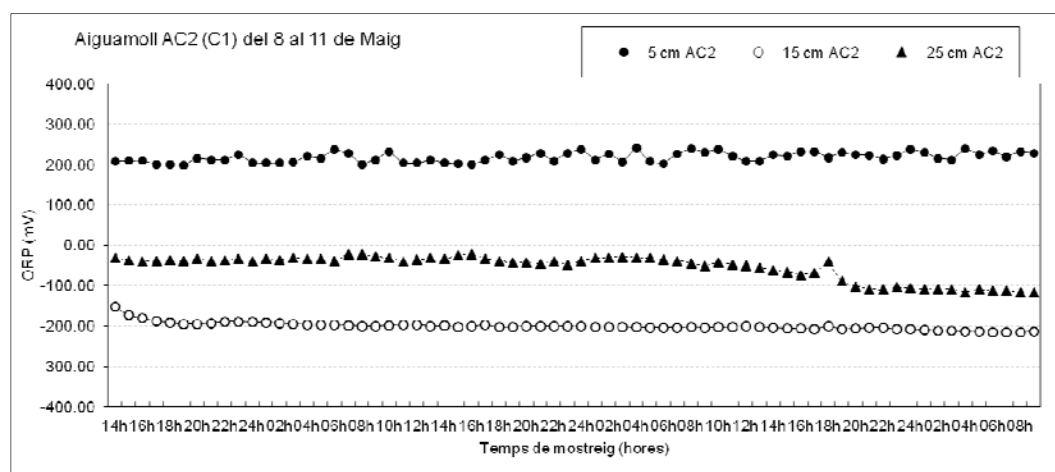


Figura A2.3 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari AC2 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà i potencial redox total a les tres profunditats



FiguraA2.4 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari

A2.2 Aiguamoll alimentat Husb, AC1. Campanya 1.

Lectura del potencial redox mitjà a 5 cm de profunditat

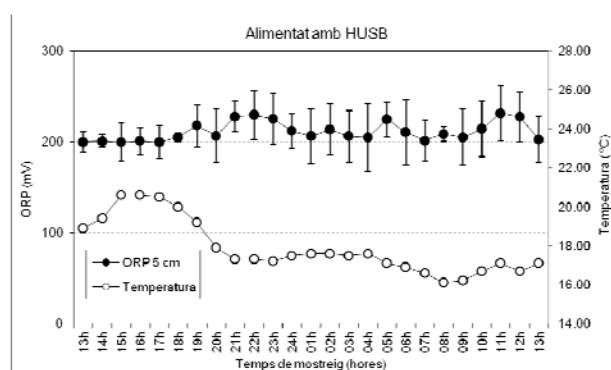


Figura A2.5 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari AC1 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà a 15 cm de profunditat

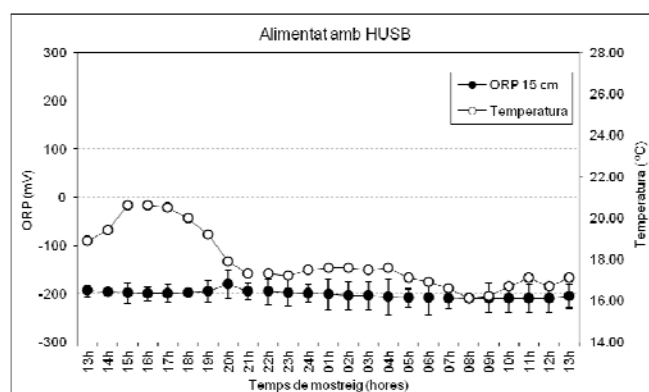


Figura A2.6 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari AC1 i Temperatura

Lectura del Potencial redox mitjà a 25 cm de profunditat

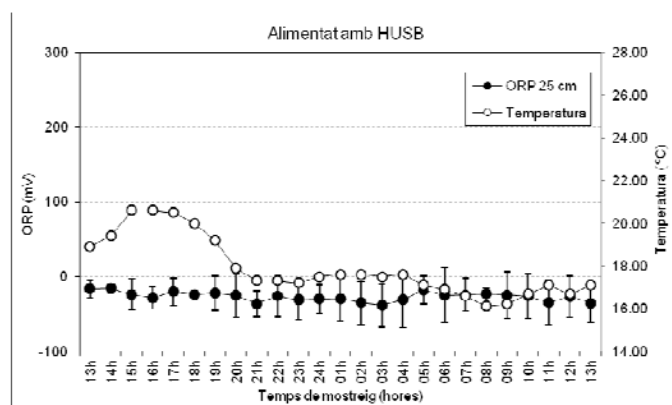


Figura A2.7 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari AC1 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà i potencial redox total a les tres profunditats

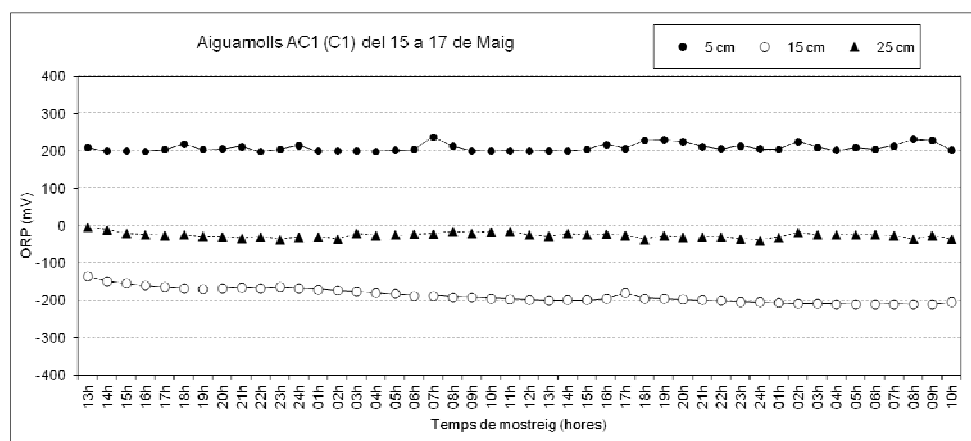


Figura A2.8 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari

A2.3 Aiguamoll alimentat Decantadors, CP1. Campanya 1.

Lectura del potencial redox mitjà a 5 cm de profunditat

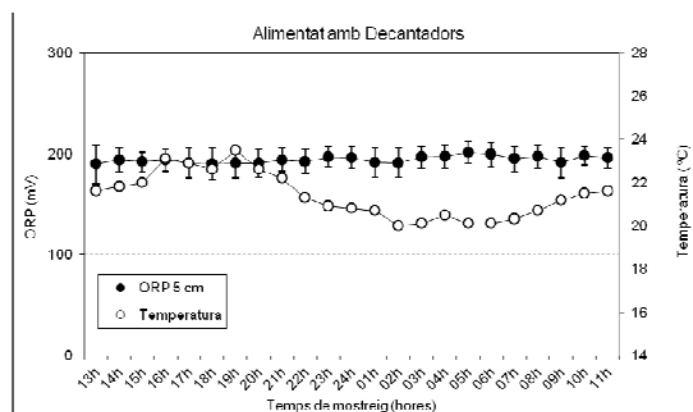


Figura A2.9 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari CP1 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà a 15 cm de profunditat

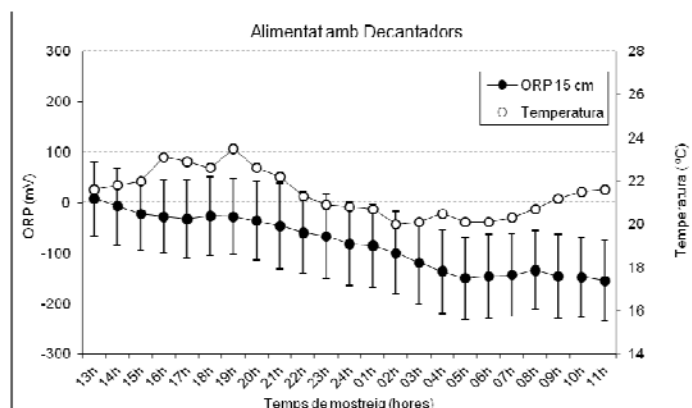


Figura A2.10 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari CP1 i Temperatura

Lectura del Potencial redox mitjà a 25 cm de profunditat

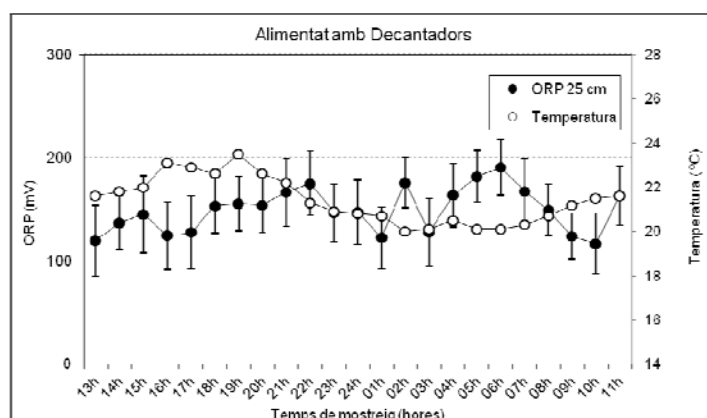


Figura A2.11 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari CP1 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà i potencial redox total a les tres profunditats

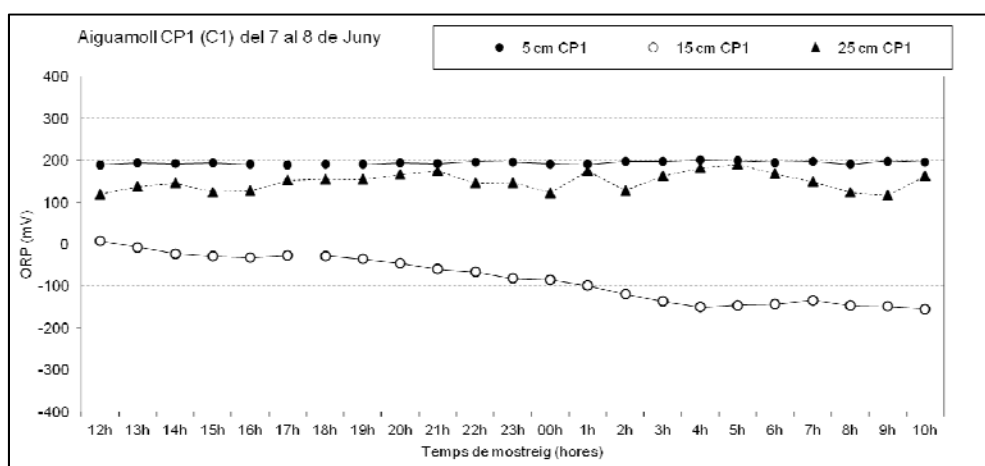
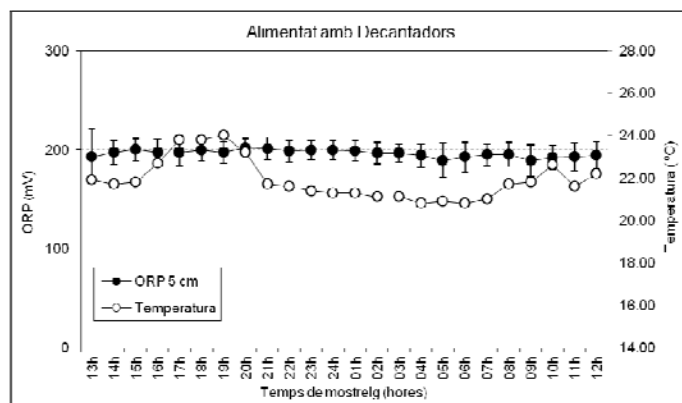
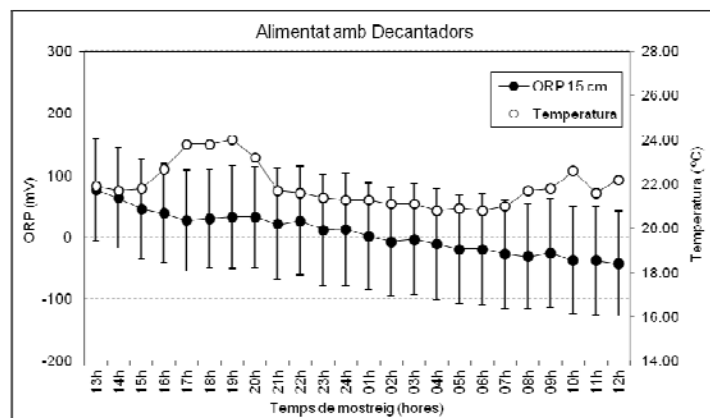


Figura A2.12 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari**A2.4 Aiguamoll alimentat Decantadors, CP2. Campanya 1.***Lectura del potencial redox mitjà a 5 cm de profunditat***Figura A2.13 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari CP2 i Temperatura***Lectura del potencial redox mitjà a 15 cm de profunditat***Figura A2.14 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari CP2 i Temperatura***Lectura del Potencial redox mitjà a 25 cm de profunditat*

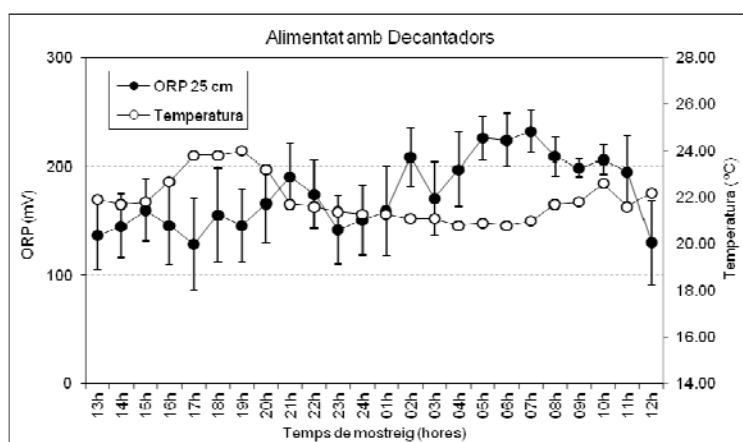


Figura A2.15 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari CP2 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà i potencial redox total a les tres profunditats

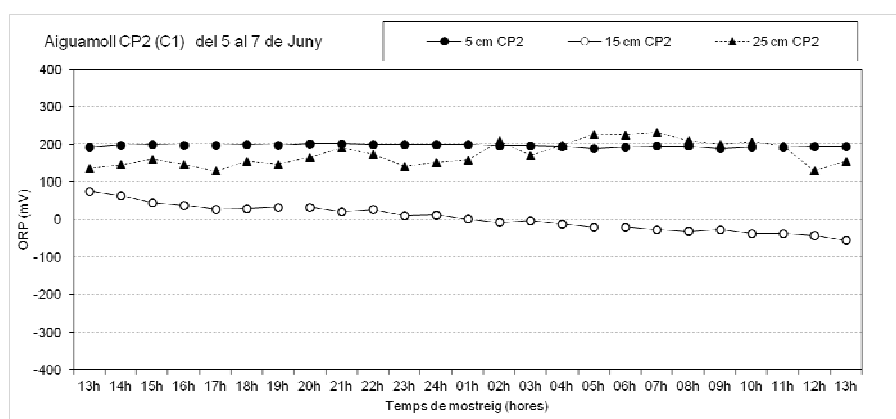


Figura A2.16 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari

A2.5 Aiguamoll alimentat Husb, AC1. Campanya 2.

Lectura del potencial redox mitjà a 5 cm de profunditat

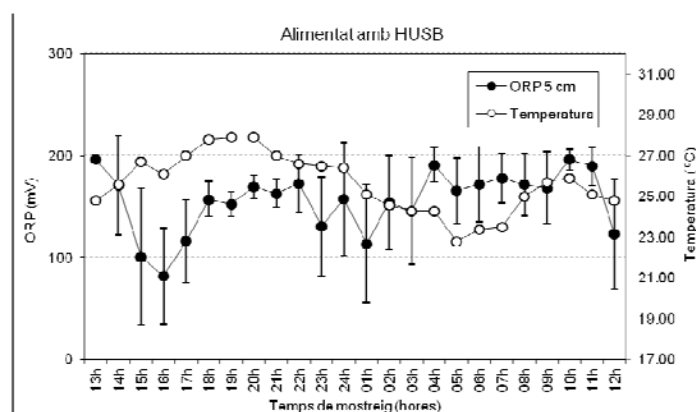


Figura A2.17 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari AC1 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà a 15 cm de profunditat

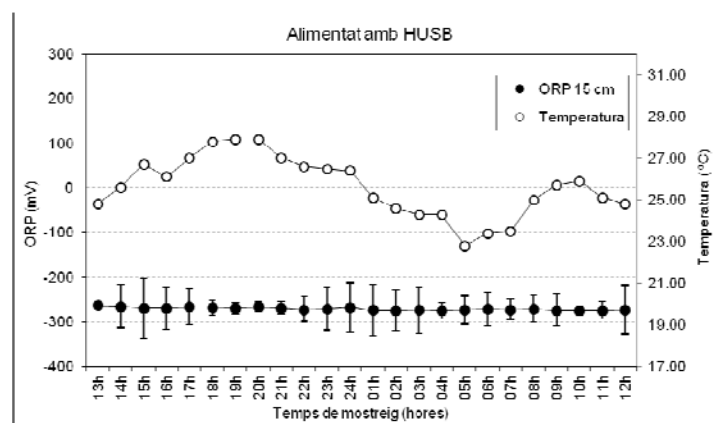


Figura A2.18 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari AC1 i Temperatura

Lectura del Potencial redox mitjà a 25 cm de profunditat

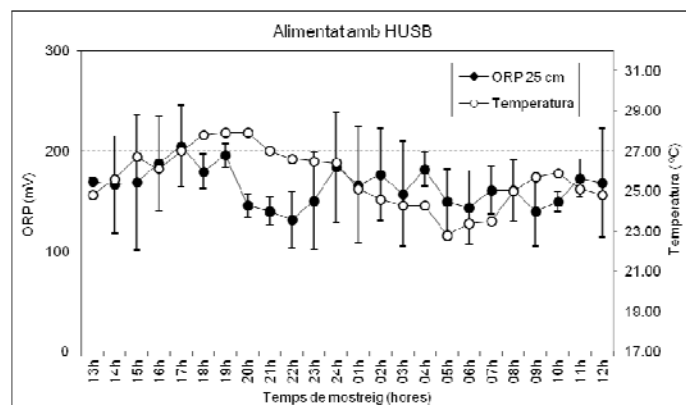


Figura A2.19 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari AC1 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà i potencial redox total a les tres profunditats

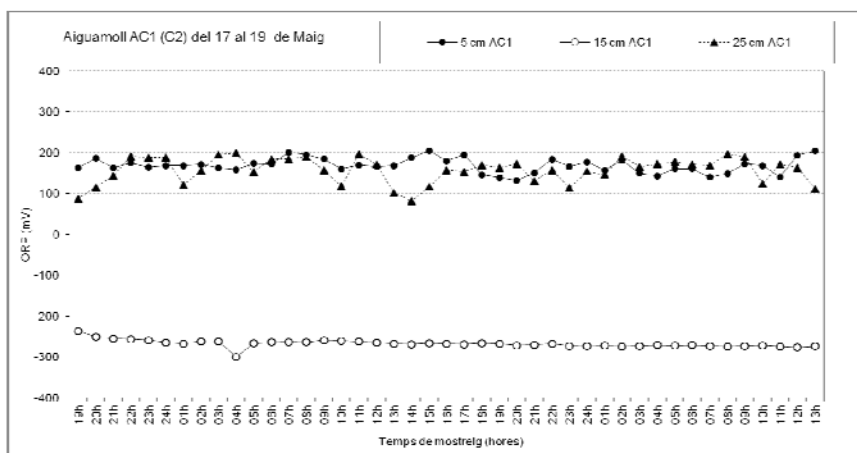


Figura A2.20 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari

A2.6 Aiguamoll alimentat Husb, AC2. Campanya 2.

Lectura del potencial redox mitjà a 5 cm de profunditat

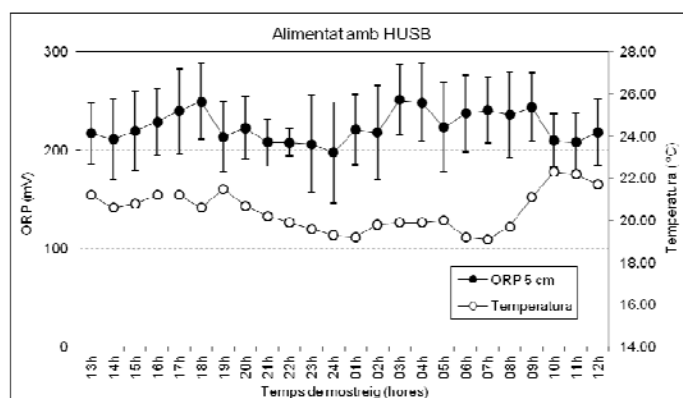


Figura A2.21 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari AC2 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà a 15 cm de profunditat

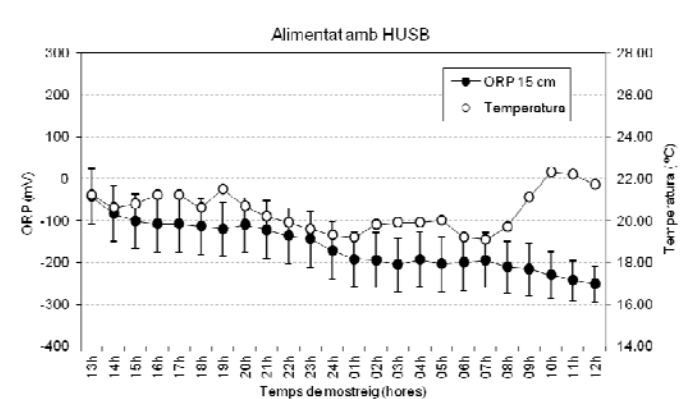


Figura A2.22 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari AC2 i Temperatura

Lectura del Potencial redox mitjà a 25 cm de profunditat

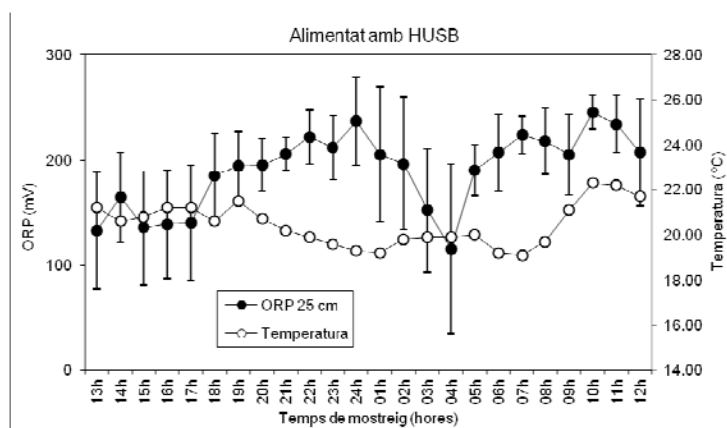


Figura A2.23 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari AC2 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà i potencial redox total a les tres profunditats

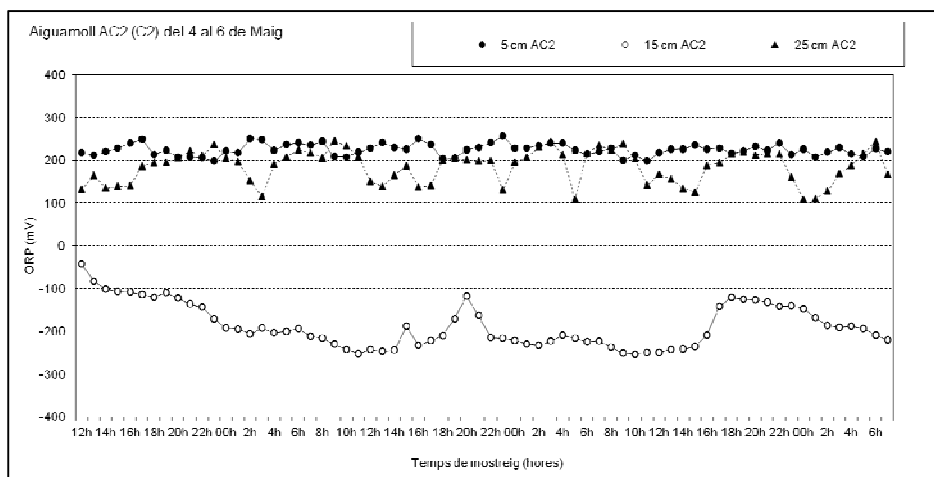


Figura A2.24 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari

A2.7 Aiguamoll alimentat Decantadors, CP1. Campanya 2.

Lectura del potencial redox mitjà a 5 cm de profunditat

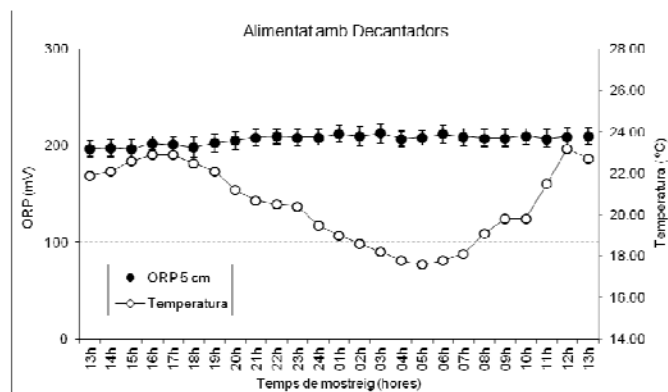


Figura A2.25 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari CP1 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà a 15 cm de profunditat

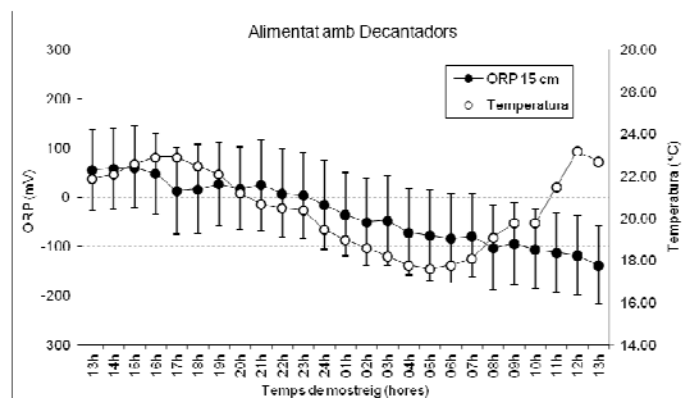


Figura A2.26 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari CP1 i Temperatura

Lectura del Potencial redox mitjà a 25 cm de profunditat

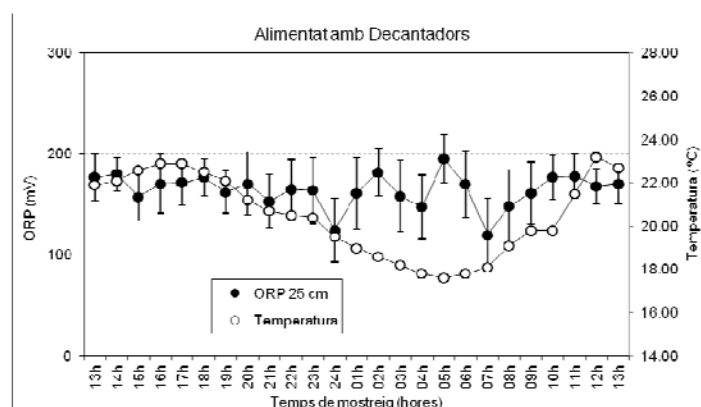


Figura A2.27 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari CP1 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà i potencial redox total a les tres profunditats

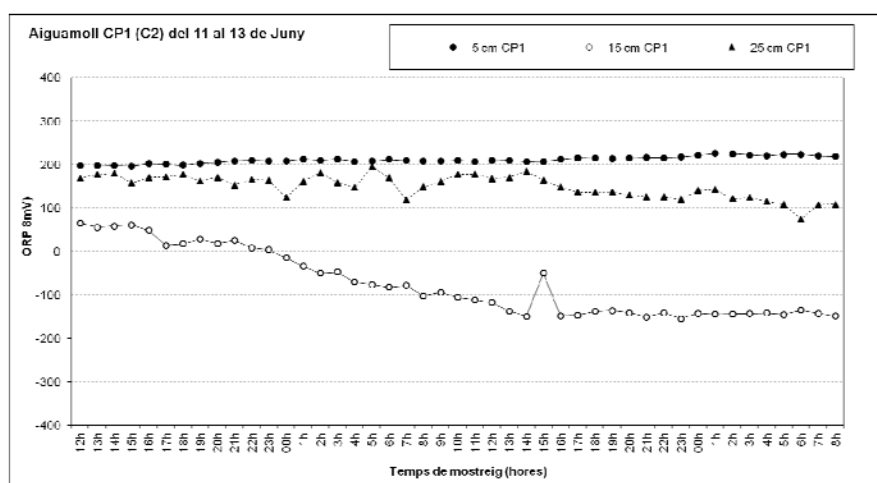


Figura A2.28 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari

A2.8 Aiguamoll alimentat Decantadors, CP2. Campanya 2.

Lectura del potencial redox mitjà a 5 cm de profunditat

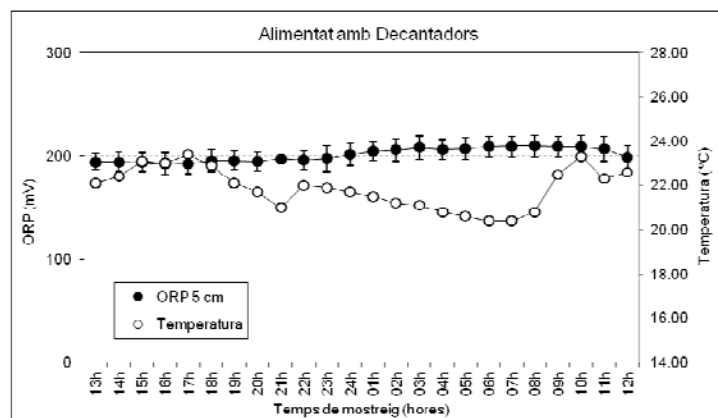


Figura A2.29 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari CP2 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà a 15 cm de profunditat

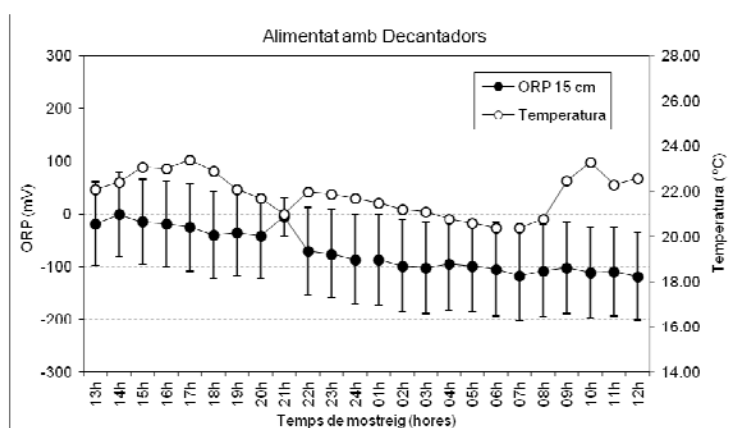


Figura A2.30 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari CP2 i Temperatura

Lectura del Potencial redox mitjà a 25 cm de profunditat

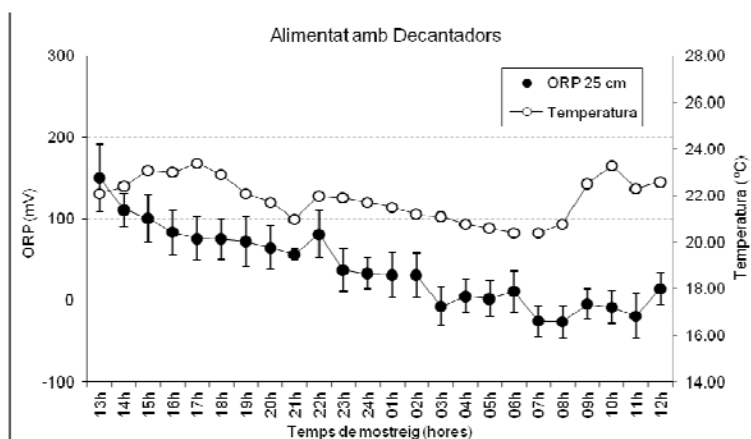


Figura A2.31 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari CP2 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà i potencial redox total a les tres profunditats

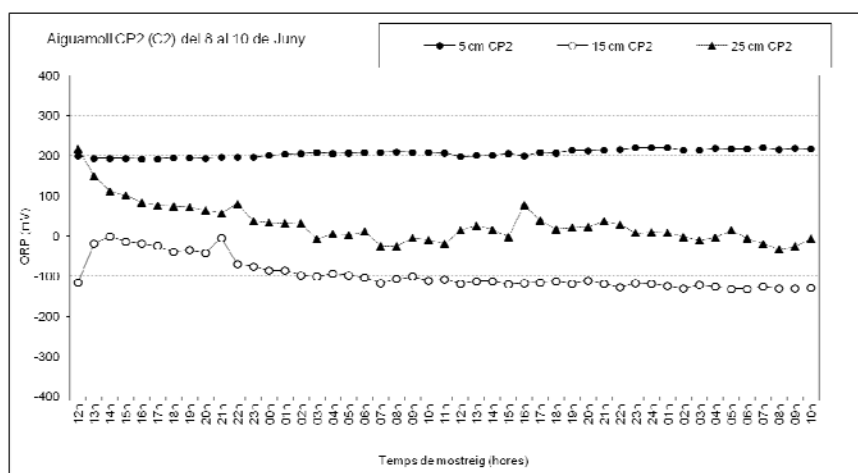


Figura A2.32 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari

A2.9 Aiguamoll alimentat Husb, AC2. Campanya 3.

Lectura del potencial redox mitjà a 5 cm de profunditat

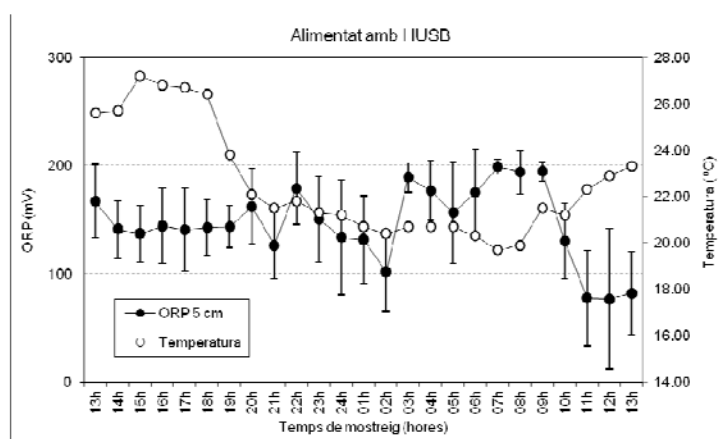


Figura A2.33 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari AC2 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà a 15 cm de profunditat

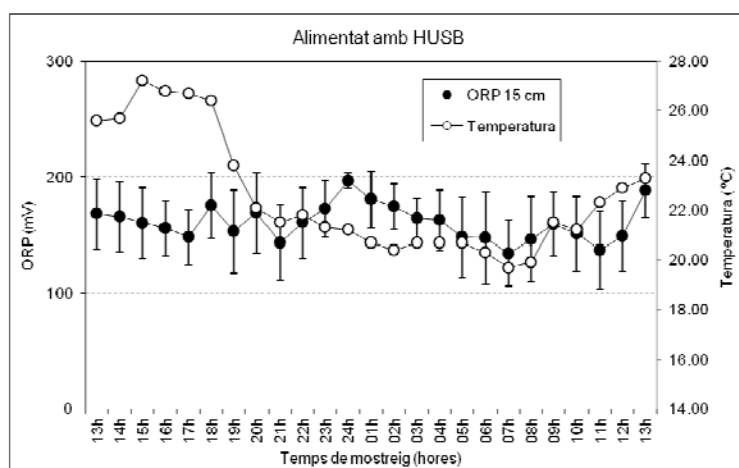
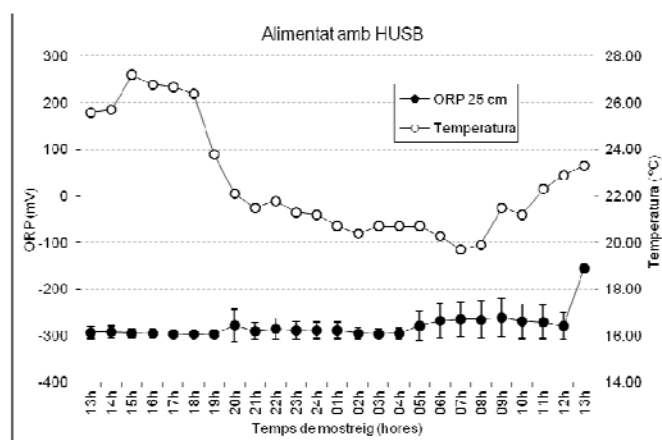
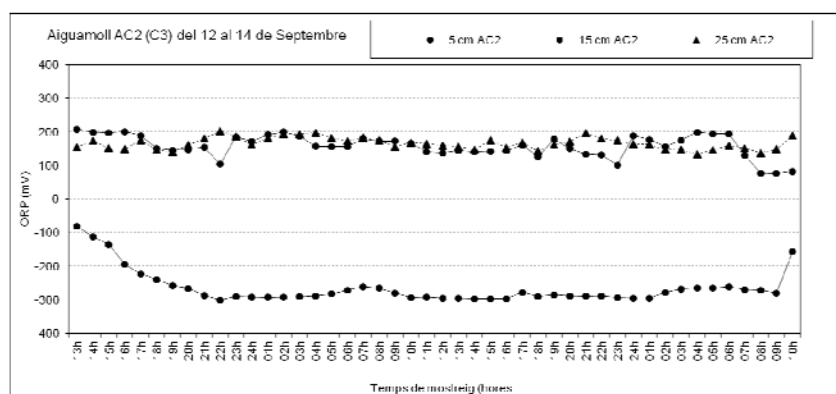


Figura A2.34 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari AC2 i Temperatura

Lectura del Potencial redox mitjà a 25 cm de profunditat

**Figura A2.35 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari AC2 i Temperatura**

Lectura del potencial redox mitjà i potencial redox total a les tres profunditats

**Figura A2.36 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari**

A2.10 Aiguamoll alimentat Husb, AC1. Campanya 3.

Lectura del potencial redox mitjà a 5 cm de profunditat

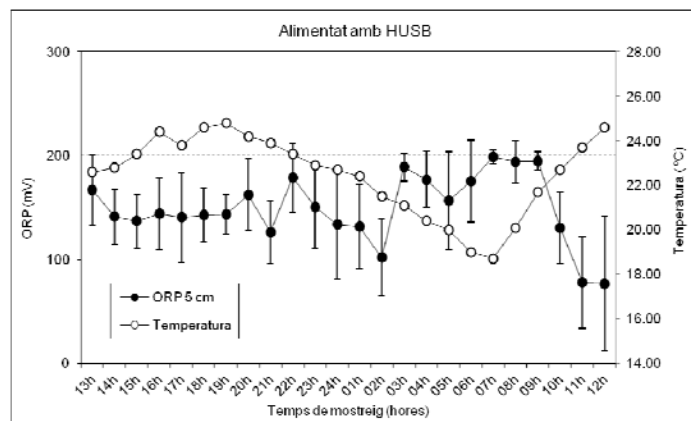


Figura A2.37 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari AC1 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà a 15 cm de profunditat

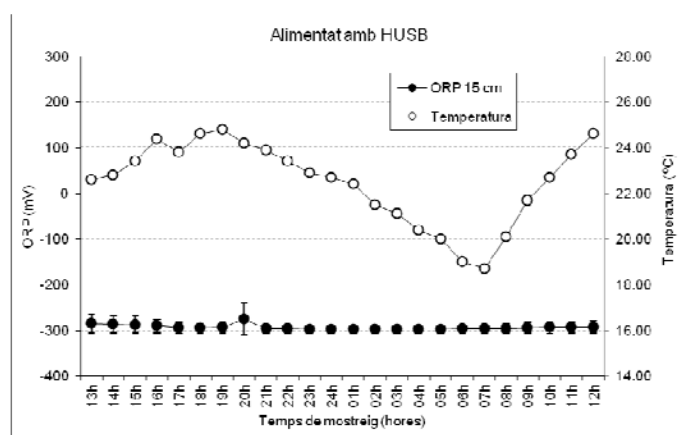


Figura A2.38 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari AC1 i Temperatura

Lectura del Potencial redox mitjà a 25 cm de profunditat

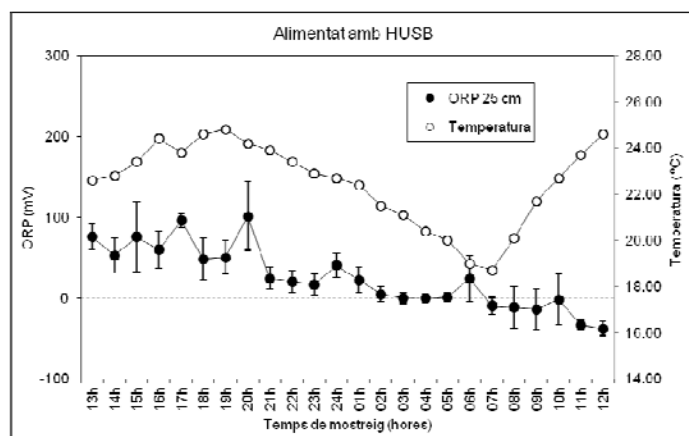


Figura A2.39 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari AC1 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà i potencial redox total a les tres profunditats

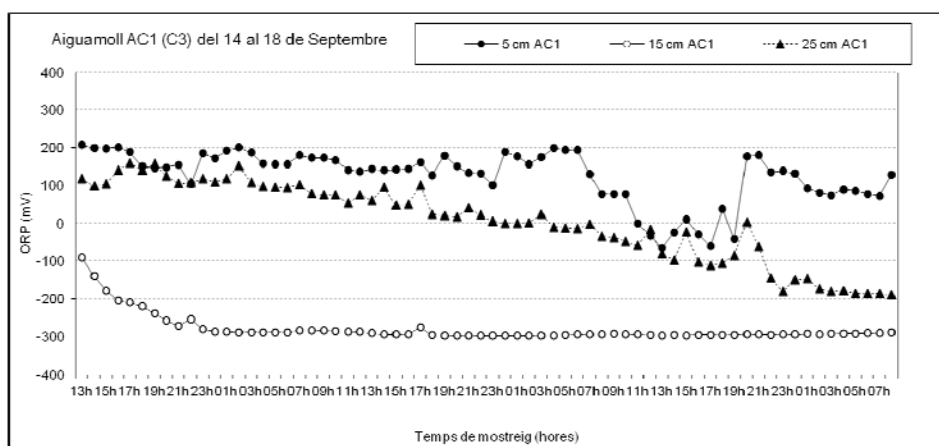


Figura A2.40 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari

A2.11 Aiguamoll alimentat Decantadors, CP1. Campanya 3.

Lectura del potencial redox mitjà a 5 cm de profunditat

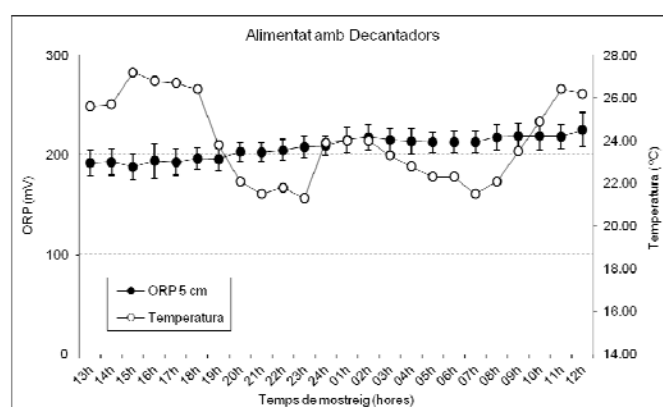


Figura A2.41 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari CP1 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà a 15 cm de profunditat

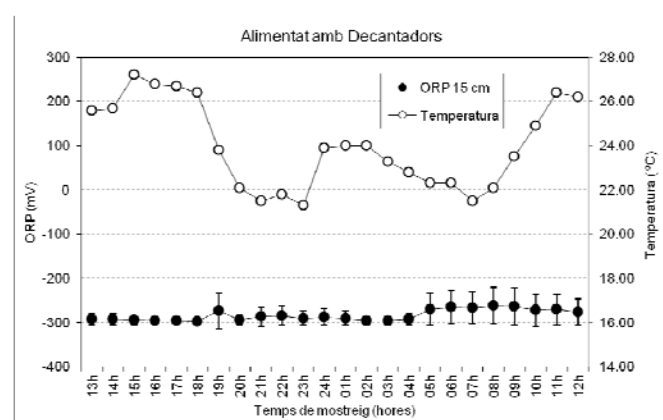


Figura A2.42 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari CP1 i Temperatura

Lectura del Potencial redox mitjà a 25 cm de profunditat

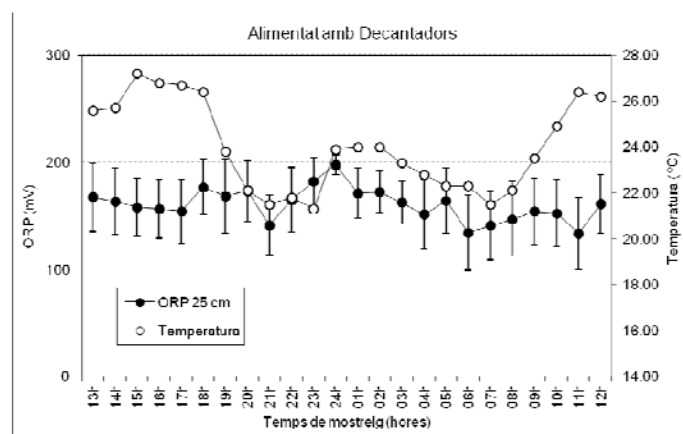


Figura A2.43 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari CP1 i Temperatura

Lectura del potencial redox mitjà i potencial redox total a les tres profunditats

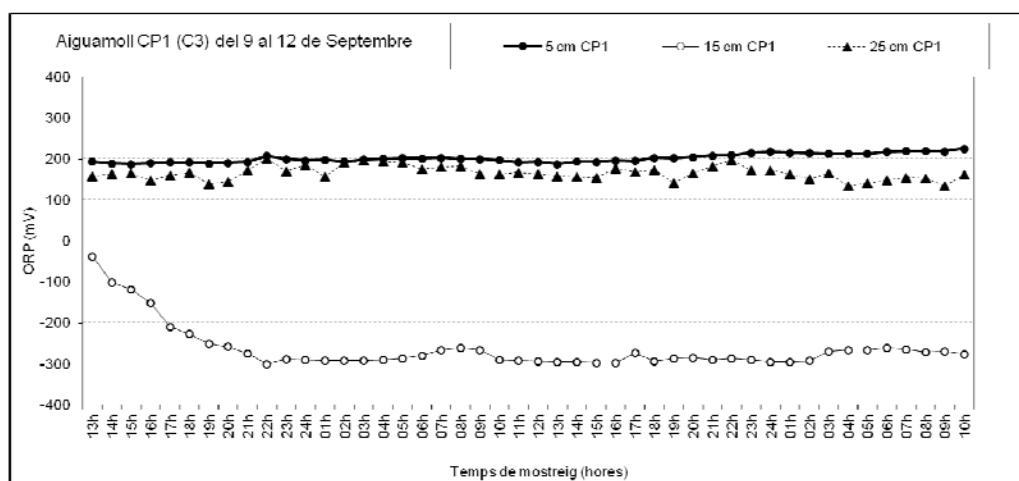


Figura A2.44 Fluctuacions del E_H als aiguamolls del sistema secundari